

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re application of: Ken SAWADA et al.

Serial Number: Not Yet Assigned

Filed: March 19, 2004

For: RESIST PATTERN FORMING METHOD AND SEMICONDUCTOR DEVICE  
FABRICATION METHOD

Attorney Docket No.: 042256  
Customer No.: 38834

**CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119**

Commissioner for Patents  
P. O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

March 19, 2004

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application is hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

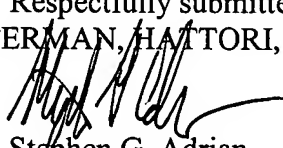
**Japanese Appln. No. 2003-339868, filed on September 30, 2003**

In support of this claim, the requisite certified copy of said original foreign application is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the applicants have complied with the requirements of 35 U.S.C. 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of said certified copy.

In the event that any fees are due in connection with this paper, please charge our Deposit Account No. 50-2866.

Respectfully submitted,  
WESTERMAN, HATTORI, DANIELS & ADRIAN, LLP

  
Stephen G. Adrian  
Reg. No. 32,878

1250 Connecticut Avenue, N.W., Suite 700  
Washington, D.C. 20036  
Tel: (202) 822-1100  
Fax: (202) 822-1111  
SGA/ll



日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 3 年    9 月 3 0 日  
Date of Application:

出 願 番 号                      特 願 2 0 0 3 - 3 3 9 8 6 8  
Application Number:  
[ST. 10/C] :                      [ J P 2 0 0 3 - 3 3 9 8 6 8 ]

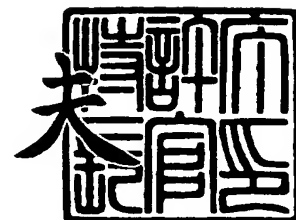
出      願      人                      富 士 通 株 式 会 社  
Applicant(s):



2 0 0 3 年 1 2 月 1 9 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康



出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 1 0 5 4 5 5

【書類名】 特許願  
【整理番号】 0340511  
【提出日】 平成15年 9月30日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01L 21/338  
【発明者】  
    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
                                内  
    【氏名】 澤田 憲  
【発明者】  
    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
                                内  
    【氏名】 牧山 剛三  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000005223  
    【氏名又は名称】 富士通株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100087479  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 北野 好人  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100114915  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 三村 治彦  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 003300  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 0012600

## 【書類名】 特許請求の範囲

## 【請求項 1】

基板上に、前記基板に達する開口部が形成されたフォトリソ膜を形成する工程と、  
前記開口部が形成された前記フォトリソ膜に、前記フォトリソ膜を膨潤化する薬液を作用させることにより、前記フォトリソ膜を膨潤化するとともに、前記開口部の側壁部分を逆テーパ形状にする工程と  
を有することを特徴とするレジストパターンの形成方法。

## 【請求項 2】

請求項 1 記載のレジストパターンの形成方法において、  
前記フォトリソ膜を形成する工程では、側壁部分の親水性及び前記薬液に対する親和性が上部ほど高い前記開口部を形成する  
ことを特徴とするレジストパターンの形成方法。

## 【請求項 3】

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のレジストパターンの形成方法において、  
前記フォトリソ膜を形成する工程は、第 1 の樹脂膜を形成する工程と、前記第 1 の樹脂膜上に、前記薬液に対する反応性が前記第 1 の樹脂膜とは異なる第 2 の樹脂膜を形成する工程と、前記第 2 の樹脂膜及び前記第 1 の樹脂膜に前記開口部を形成する工程とを有する  
ことを特徴とするレジストパターンの形成方法。

## 【請求項 4】

半導体基板上に、前記半導体基板に達する開口部が形成されたフォトリソ膜を形成する工程と、  
前記開口部が形成された前記フォトリソ膜に、前記フォトリソ膜を膨潤化する薬液を作用させることにより、前記フォトリソ膜を膨潤化するとともに、前記開口部の側壁部分を逆テーパ形状にする工程と、  
導電膜を堆積した後、前記フォトリソ膜上の前記導電膜を前記フォトリソ膜とともに選択的に除去することにより、前記導電膜よりなり、前記半導体基板に接続された電極を形成する工程と  
を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

## 【請求項 5】

半導体基板上に、絶縁膜を形成する工程と、  
前記絶縁膜上に、前記絶縁膜に達する第 1 の開口部が形成されたフォトリソ膜を形成する工程と、  
前記フォトリソ膜をマスクとして前記絶縁膜をエッチングし、前記絶縁膜に前記半導体基板に達する第 2 の開口部を形成する工程と、  
前記第 1 の開口部が形成された前記フォトリソ膜に、前記フォトリソ膜を膨潤化する薬液を作用させることにより、前記フォトリソ膜を膨潤化するとともに、前記第 1 の開口部の側壁部分を逆テーパ形状にする工程と、  
導電膜を堆積した後、前記フォトリソ膜上の前記導電膜を前記フォトリソ膜とともに選択的に除去することにより、前記導電膜よりなり、前記第 2 の開口部内において前記半導体基板に接続された電極を形成する工程と  
を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

## 【書類名】明細書

【発明の名称】レジストパターンの形成方法及び半導体装置の製造方法

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、レジストパターンの形成方法及び半導体装置の製造方法に係り、特に、フォトレジストの解像限界よりも小さい開口部を有するレジストパターンの形成方法及びこのレジストパターンの形成方法を用いた半導体装置の製造方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

化合物半導体材料を用いた電界効果トランジスタでは、ゲート電極やオーミック電極を形成する際、半導体表面へのダメージを低減するために、蒸着リフトオフ法が広く用いられている（例えば、特許文献1～3を参照）。リフトオフによる電極形成プロセスでは、フォトレジスト膜の開口部が導電膜によって完全に埋め込まれないように、開口部の端部が逆テーパー状或いは庇状のフォトレジスト膜を形成する。

## 【0003】

このような形状を有するフォトレジスト膜を形成するための一手法として、感度の異なる2種類のフォトレジスト材料を用いる方法が知られている。この方法では、感度の高いフォトレジスト膜上に感度の低いフォトレジスト膜を形成し、これらフォトレジスト膜を同時に露光・現像する。これにより、感度の高いフォトレジスト膜における開口幅が感度の低いフォトレジスト膜における開口幅より広くなり、庇状のフォトレジスト膜を形成することができる。また、このような形状を有するフォトレジスト膜を形成するための他の手法としては、紫外線吸収色素を添加した紫外線感光レジストを用いる方法も提案されている。

## 【0004】

図13及び図14は、蒸着リフトオフ法及び2層レジストプロセスを用いた従来の半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。

## 【0005】

まず、化合物半導体基板100上に、例えばCVD法により、例えばシリコン窒化膜を堆積し、シリコン窒化膜よりなる絶縁膜102を形成する（図13（a））。

## 【0006】

次いで、フォトリソグラフィーにより、絶縁膜102上に、ゲート電極の形成予定領域を露出するフォトレジスト膜104を形成する（図13（b））。

## 【0007】

次いで、フォトレジスト膜104をマスクとして、ドライエッチングにより絶縁膜102をエッチングし、絶縁膜102に、化合物半導体基板100に達する開口部106を形成する。

## 【0008】

次いで、例えばアッシングにより、フォトレジスト膜104を除去する（図13（c））。

## 【0009】

次いで、開口部106が形成された絶縁膜102上に、フォトレジスト膜108と、フォトレジスト膜108とは光学特性及びエッチング特性が異なるフォトレジスト膜110とを形成する。

## 【0010】

次いで、フォトリソグラフィーにより、フォトレジスト膜108をパターンニングし、開口部106が形成された領域を含む領域のフォトレジスト膜110に開口部112を形成する。

## 【0011】

次いで、例えばウェットエッチングにより、フォトレジスト膜110をマスクとしてフォトレジスト膜108を等方的にエッチングし、フォトレジスト膜108に、開口部11

2 よりも広い開口部 114 を形成する (図 13 (d))。

【0012】

次いで、例えば蒸着法により、ゲート電極となる金属膜 116 を堆積する (図 14 (a))。

【0013】

次いで、例えばレジスト剥離剤により、フォトレジスト膜 108, 110 を除去する。同時に、フォトレジスト膜 110 上の金属膜 116 は、フォトレジスト膜 108, 110 とともに除去 (リフトオフ) される。これにより、金属膜 116 よりなり、開口部 106 を介して化合物半導体基板 100 に接続されたゲート電極 118 を形成することができる。

【0014】

一方、半導体装置の微細化に伴い、フォトリソグラフィーに用いられる露光光の短波長化が進んでいる。しかしながら、露光光の短波長化には、それに対応する解像限界を有するフォトレジスト材料の研究や新たな露光装置への投資など、多大な費用や時間を要する。また、電子ビーム露光では、光露光と同様のスループットを確保することは困難である。このため、フォトレジストの解像限界よりも微細なパターンを形成する技術が検討されており、露光光波長を延命する手法が模索されている。

【0015】

このような背景において、近年、フォトレジストの解像限界よりも微細なパターンを有するフォトレジスト膜を形成する技術として、パターンニングしたフォトレジスト膜に所定の補助剤を作用させることにより、レジストパターンを膨潤させ、フォトリソグラフィーにより形成したパターンよりも微細なパターンを形成する方法が開発されている (例えば、特許文献 4 及び非特許文献 1 を参照)。

【特許文献 1】特開平 07-153666 号公報

【特許文献 2】特開平 08-115923 号公報

【特許文献 3】特開平 11-307549 号公報

【特許文献 4】特開平 10-073927 号公報

【非特許文献 1】"Advanced Micro-Lithography Process for I-line Lithography", T. Ishibashi et al., Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 40 (2001) p.7156

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

リフトオフにより電極を形成するためには、上述の通り、レジストパターンの開口部が逆テーパ形状或いは底形状を有している必要がある。また、製造コストを抑えるためには、安価な露光光源、例えば i 線紫外光を用いたフォトリソグラフィーが有利である。

【0017】

しかしながら、i 線露光技術を用いた場合、 $0.4\ \mu\text{m}$ 以下の微細なリフトオフ電極を形成することは困難であった。また、上記特許文献 4 及び非特許文献 1 に記載されている方法では、逆テーパ形状のレジストパターンを形成することはできなかった。

【0018】

また、図 13 及び図 14 に示す上記従来の半導体装置の製造方法では、絶縁膜 102 に形成する開口部 106 とフォトレジスト膜 110 に形成する開口部 112 とを別々のフォトリソグラフィー工程により形成するため、開口部 106 に対する開口部 112 の位置合わせずれが生じると、図 14 (c) に示すように、ゲート電極 118 が絶縁膜 102 上に乗り上げる部分の長さが変動する。ゲート電極 118 が絶縁膜 102 上に乗り上げている部分は、素子の破壊耐圧やゲート電極の寄生容量を決定する部分である。このため、従来の半導体装置の製造方法では、フォトリソグラフィーの位置合わせずれに起因して素子特性がばらつくことがあった。

【0019】

本発明の目的は、フォトレジストの解像限界よりも微細な開口径を有するとともに、逆

テーパ状或いは底状の開口端部形状を有するレジストパターンを、簡便な手法で形成するレジストパターン形成方法、並びにこのようなレジストパターンの形成方法を用いた半導体装置の製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0020】

上記目的は、基板上に、前記基板に達する開口部が形成されたフォトレジスト膜を形成する工程と、前記開口部が形成された前記フォトレジスト膜に、前記フォトレジスト膜を膨潤化する薬液を作用させることにより、前記フォトレジスト膜を膨潤化するとともに、前記開口部の側壁部分を逆テーパ形状にする工程とを有することを特徴とするレジストパターンの形成方法によって達成される。

【0021】

また、上記目的は、半導体基板上に、前記半導体基板に達する開口部が形成されたフォトレジスト膜を形成する工程と、前記開口部が形成された前記フォトレジスト膜に、前記フォトレジスト膜を膨潤化する薬液を作用させることにより、前記フォトレジスト膜を膨潤化するとともに、前記開口部の側壁部分を逆テーパ形状にする工程と、導電膜を堆積した後、前記フォトレジスト膜上の前記導電膜を前記フォトレジスト膜とともに選択的に除去することにより、前記導電膜よりなり、前記半導体基板に接続された電極を形成する工程とを有することを特徴とする半導体装置の製造方法によっても達成される。

【0022】

また、上記目的は、半導体基板上に、絶縁膜を形成する工程と、前記絶縁膜上に、前記絶縁膜に達する第1の開口部が形成されたフォトレジスト膜を形成する工程と、前記フォトレジスト膜をマスクとして前記絶縁膜をエッチングし、前記絶縁膜に前記半導体基板に達する第2の開口部を形成する工程と、前記第1の開口部が形成された前記フォトレジスト膜に、前記フォトレジスト膜を膨潤化する薬液を作用させることにより、前記フォトレジスト膜を膨潤化するとともに、前記第1の開口部の側壁部分を逆テーパ形状にする工程と、導電膜を堆積した後、前記フォトレジスト膜上の前記導電膜を前記フォトレジスト膜とともに選択的に除去することにより、前記導電膜よりなり、前記第2の開口部内において前記半導体基板に接続された電極を形成する工程とを有することを特徴とする半導体装置の製造方法によっても達成される。

【発明の効果】

【0023】

以上の通り、本発明によれば、フォトレジスト膜を膨潤化する際に、開口部内における親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性の深さ方向分布を利用して、開口部の上方ほど膨潤量を大きくするので、逆テーパ状の開口端を有するフォトレジスト膜を容易に形成することができる。

【0024】

また、フォトリソグラフィーによってフォトレジスト膜に開口部を形成後に膨潤化処理を行うので、フォトリソグラフィーにより開口した開口径よりも小さい開口径を有する開口部を形成することができる。これにより、フォトレジストの解像限界以下の開口径を有し側壁部分がテーパ形状である開口部を形成することができる。このような開口部を有するフォトレジスト膜は、リフトオフを用いた電極形成に好適である。

【0025】

また、ゲート電極の端部が絶縁膜上に延在する構造のT型ゲート電極を形成する場合でも、ゲート電極を1回のフォトリソグラフィー工程により形成することができる。これにより、製造工程を簡略にできるとともに、ゲート電極のオーバーゲート部分を開口部に対して容易且つ再現性よく整合させることができる。したがって、素子特性のばらつきを大幅に低減することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

[第1実施形態]

本発明の第 1 実施形態によるレジストパターンの形成方法について図 1 乃至図 3 を用いて説明する。図 1 は、本実施形態によるレジストパターンの形成方法を示す工程断面図、図 2 はシュリンク量とプリベーク温度との関係を示すグラフ、図 3 はシュリンク量と樹脂の種類との関係を示すグラフである。

#### 【 0 0 2 7 】

例えば特許文献 4 や非特許文献 1 に記載されているように、微細なレジストパターンを形成する技術として、パターンニングしたフォトレジスト膜に所定の補助剤を作用させることにより、レジストパターンを膨潤させ、フォトリソグラフィーにより形成したパターンよりも微細なパターンを形成する方法が知られている。

#### 【 0 0 2 8 】

本願発明者等が上記技術について鋭意検討を行った結果、パターンニングしたノボラック系フォトレジストに所定のレジストパターン膨潤化材料を作用させることにより、開口上部ほど縮小率が大きい形状、すなわち端部が逆テーパ形状であるレジストパターンを形成できることが初めて明らかとなった。

#### 【 0 0 2 9 】

ノボラック系フォトレジスト材料は、半導体製造においてポピュラーなフォトレジスト材料であり、基材樹脂としてのノボラック樹脂と、ナフトキノンジアジド系の感光剤とにより構成されたものである。この系統のフォトレジスト材料では、未露光部ではアルカリ現像液への溶解性が低く、露光部では感光剤がインデンカルボン酸に変化することで現像液への溶解性が増大する。

#### 【 0 0 3 0 】

ノボラック系フォトレジストを露光・現像して開口部を形成すると、開口部端面は、親水性のフェノール基を含むノボラック樹脂の効果により、親水性となる。よって、この開口部に親水性のレジストパターンを膨潤化する薬液（レジストパターン膨潤化材料）を作用させることで、親水性物質同士が物理化学的に吸着し、その後のベーキングによってミキシング・架橋を行い、開口縮小が実現される。

#### 【 0 0 3 1 】

このとき、ノボラック系フォトレジストでは、ミキシング・架橋の度合いが、開口上部ほど大きくなる。ミキシング・架橋の度合いが開口上部ほど大きくなる詳細なメカニズムについては明らかではないが、ノボラック系フォトレジストの場合、光入射に対して深さ方向のレジスト変性度合いが大きいと考えられる。すなわち、ノボラック系フォトレジスト内において、感光剤がインデンカルボン酸に変化する度合いが光入射に対して深さ方向で敏感に変化し、開口上部の方が開口下部に比べてより親水性の性質を保有するようになると推測される。また、表面側ほどアルカリ現像液に曝される時間が長くなるため、レジストへのアルカリ現像液の染み込み度合いに違いが生じ、開口上部の方が開口下部に比べてより親水性の性質を保有するようになるとも推測される。

#### 【 0 0 3 2 】

ポリメチルメタクリレート系レジストの場合にも、同様の膨潤化処理が可能である。例えば、電子線描画等によりポリメチルメタクリレート系レジストに開口を形成した後、例えば開口上部より酸素アッシング処理を施す。この開口部にレジストパターン膨潤化材料を作用させることで、親和性の高い物質同士が物理化学的に吸着・相互浸透し、その後のベーキングによってミキシング・架橋が生じ、開口縮小が実現される。この場合、酸素プラズマに曝された開口上部ほど、親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性が向上し、酸素プラズマに曝されていない場合の約 3 ～ 4 倍のシュリンク量を呈する。

#### 【 0 0 3 3 】

以下、上記メカニズムについて、本実施形態によるレジストパターンの形成方法とともに説明する。

#### 【 0 0 3 4 】

まず、基板 1 0 上に、ノボラック系フォトレジスト材料よりなるフォトレジスト膜 1 2 を形成する。なお、ノボラック系フォトレジスト材料としては、例えば、基材樹脂として



のノボラック樹脂と、感光剤としてのナフトキノンジアジゾとを含むレジスト材料を適用することができる。

【0035】

次いで、フォトリソグラフィーにより、フォトレジスト膜12を露光・現像し、フォトレジスト膜12に開口部13を形成する。このとき、感光剤の感応度合いや現像液の染み込み度合いが深さ方向で異なり、図1(a)に示すように、開口上部ほどに親水性が強い領域14が広がっているものと考えられる。

【0036】

次いで、パターンニングしたフォトレジスト膜12が形成された基板10上に、レジストパターン膨潤化材料を塗布し、レジストパターン膨潤化膜16を形成する(図1(b))。

【0037】

次いで、例えば85℃60秒間の熱処理(ソフトベーク)を行い、フォトレジスト膜12とレジスト材料膨潤化膜16とをなじませる(ミキシング)。

【0038】

次いで、例えば95℃60秒間の熱処理(ハードベーク)を行い、フォトレジスト膜12内部に浸透した膨潤化材料とレジスト材料との架橋を促進させる。

【0039】

このとき、レジストパターン膨潤化材料は親水性の性質を有しているため、親水性物質同士が物理化学的に吸着し、親水性が強い領域14が多い開口上部の領域ほどにミキシング・架橋が生じやすい。このため、フォトレジスト膜12には、開口上部ほど張り出した形状のミキシング領域18が形成される(図1(c))。

【0040】

この後、架橋していないレジストパターン膨潤化膜16を現像除去することにより、開口の側壁部分が逆テーパ形状を有するフォトレジスト膜を形成することができる。

【0041】

上述のレジストパターンの形成方法により形成した逆テーパ形状のフォトレジスト膜は、電極材料のリフトオフに用いるためのフォトレジスト膜として好適である。

【0042】

ノボラック系フォトレジスト材料は、上述の通り、例えば、基材樹脂としてのノボラック樹脂と、ナフトキノンジアジド系の感光剤とにより構成されている。

【0043】

ノボラック樹脂は、フェノール類とホルムアルデヒドを硫酸や塩酸などの酸性触媒下で縮合して得られる樹脂の総称である。フェノール類としては、m-クレゾール、p-クレゾール、ジメチルフェノール、トリメチルフェノール等を用いることができる。縮合剤としては、ホルムアルデヒド、サリチルアルデヒドなどを用いることができる。

【0044】

レジストの特性には、ノボラック樹脂のモノマー種とその組成比、分子量、分子量分布、モノマーユニットの配列の仕方、溶解速度などが影響を与えるため、所望の特性に応じてこれらパラメータを適宜選択することができる。例えば、パターンのコントラストを上げるために未露光部の現像液膜減り量を抑えるため、溶解速度が遅くなりやすいジメチルフェノールやトリメチルフェノールの導入を行ったり、縮合反応をコントロールしてフェノール類がp位で縮合するモノマーユニットの配列を積極的に取り入れ未露光部でのジアゾカップリング反応を促進したりすることができる。

【0045】

ナフトキノンジアジド系の感光剤としては、一般的に使用されているナフトキノン-1, 2-ジアジド-5-スルホン酸エステルを用いることができる。ナフトキノン-1, 2-ジアジド-5-スルホン酸エステルを、バラスト化合物と呼ばれる多価フェノール化合物にエステル結合させて用いるようにしてもよい。

【0046】

ノボラック系フォトレジスト材料又はポリメチルメタクリレート系レジスト材料に作用させるレジストパターン膨潤化材料としては、樹脂と、架橋材と、界面活性剤とを含有してなり、更に必要に応じて適宜選択した、水溶性芳香族化合物、芳香族化合物を一部に有してなる樹脂、有機溶剤、その他の成分などを含有してなる材料を適用することができる。

#### 【0047】

レジストパターン膨潤化材料は、水溶性乃至アルカリ可溶性を有している。レジストパターン膨潤化材料の態様としては、水溶液状、コロイド液状、エマルジョン液状などの態様であってもよいが、水溶液状であるのが好ましい。

#### 【0048】

レジストパターン膨潤化材料を構成する樹脂としては、特に制限はなく目的に応じて適宜選択することができるが、水溶性乃至アルカリ可溶性であるのが好ましく、架橋反応を生ずることが可能或いは架橋反応を生じないが水溶性架橋剤と混合可能であるのがより好ましい。

#### 【0049】

上記樹脂が水溶性樹脂である場合、水溶性樹脂としては、25℃の水に対し0.1g以上溶解する水溶性を示すものが好ましい。

#### 【0050】

このような水溶性樹脂としては、例えば、ポリビニルアルコール、ポリビニルアセタール、ポリビニルアセテート、ポリアクリル酸、ポリビニルピロリドン、ポリエチレンイミン、ポリエチレンオキシド、スチレン-マレイン酸共重合体、ポリビニルアミン、ポリアリルアミン、オキサゾリン基含有水溶性樹脂、水溶性メラミン樹脂、水溶性尿素樹脂、アルキッド樹脂、スルホンアミド樹脂などが挙げられる。

#### 【0051】

上記樹脂がアルカリ可溶性である場合、アルカリ可溶性樹脂としては、25℃の2.38% TMAH水溶液に対し、0.1g以上溶解するアルカリ可溶性を示すものが好ましい。

#### 【0052】

このようなアルカリ可溶性樹脂としては、例えば、ノボラック樹脂、ビニルフェノール樹脂、ポリアクリル酸、ポリメタクリル酸、ポリp-ヒドロキシフェニルアクリラート、ポリp-ヒドロキシフェニルメタクリラート、これらの共重合体などが挙げられる。

#### 【0053】

上記樹脂は、1種単独で使用してもよいし、2種類以上を併用してもよい。これらの中でも、ポリビニルアルコール、ポリビニルアセタール、ポリビニルアセテートなどが好ましい。

#### 【0054】

上記樹脂のレジストパターン膨潤化材料における含有量は、架橋剤等の種類・含有量等により異なり一概に規定することができないが、目的に応じて適宜決定することができる。

#### 【0055】

レジストパターン膨潤化材料を構成する架橋剤としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができるが、熱又は酸によって架橋を生じる水溶性のものが好ましく、例えば、アミノ系架橋剤が好適に挙げられる。

#### 【0056】

上記アミノ系架橋剤としては、例えば、メラミン誘導体、ユリア誘導体、ウリル誘導体などが好適に挙げられる。これらは、1種単独で使用してもよいし、2種以上を併用してもよい。

#### 【0057】

上記ユリア誘導体としては、例えば、尿素、アルコキシメチレン尿素、N-アルコキシメチレン尿素、エチレン尿素、エチレン尿素カルボン酸、これらの誘導体などが挙げられ

る。

【0058】

上記メラミン誘導体としては、例えば、アルコキシメチルメラミン、これらの誘導体などが挙げられる。

【0059】

上記ウリル誘導体としては、例えば、ベンゾグアナミン、グリコールウリル、これらの誘導体などが挙げられる。

【0060】

上記架橋剤のレジストパターン膨潤化材料における含有量は、上記樹脂の種類・含有量等により異なり一概に規定することができないが、目的に応じて適宜決定することができる。

【0061】

レジストパターン膨潤化材料を構成する界面活性剤としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができるが、非イオン性界面活性剤、カチオン性界面活性剤、アニオン性界面活性剤、両性界面活性剤などが挙げられる。これらは1種単独で使用してもよいし、2種以上を併用してもよい。これらの中でも、金属イオンを含有しない点で非イオン性界面活性剤が好ましい。

【0062】

上記非イオン性界面活性剤としては、アルコキシレート系界面活性剤、脂肪酸エステル系界面活性剤、アミド系界面活性剤、アルコール系界面活性剤、及びエチレンジアミン系界面活性剤から選択されるものが好適に挙げられる。なお、これらの具体例としては、ポリオキシエチレン-ポリオキシプロピレン縮合物化合物、ポリオキシアルキレンアルキルエーテル化合物、ポリオキシエチレンアルキルエーテル化合物、ポリオキシエチレン誘導体化合物、ソルビタン脂肪酸エステル化合物、グリセリン脂肪酸エステル化合物、第1級アルコールエトキシレート化合物、フェノールエトキシレート化合物、ノニルフェノールエトキシレート系、オクチルフェノールエトキシレート系、ラウリルアルコールエトキシレート系、オレイルアルコールエトキシレート系、脂肪酸エステル系、アミド系、天然アルコール系、エチレンジアミン系、第2級アルコールエトキシレート系などが挙げられる。

【0063】

上記カチオン性界面活性剤としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができ、例えば、アルキルカチオン系界面活性剤、アミド型4級カチオン系界面活性剤、エステル型4級カチオン系界面活性剤などが挙げられる。

【0064】

上記両性界面活性剤としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができ、例えば、アミノオキサイド系界面活性剤、ベタイン系界面活性剤などが挙げられる。

【0065】

上記界面活性剤のレジストパターン膨潤化材料における含有量は、上記樹脂、上記架橋剤等の種類・含有量等により異なり一概に規定することができないが、目的に応じて適宜決定することができる。

【0066】

レジストパターン膨潤化材料が水溶性芳香族化合物を含有していると、エッチング耐性を顕著に向上させることができる点で好ましい。

【0067】

上記水溶性芳香族化合物としては、芳香族化合物であって水溶性を示すものであれば特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができるが、25℃の水100gに対し1g以上溶解する水溶性を示すものが好ましく、25℃の水100gに対し3g以上溶解する水溶性を示すものがより好ましく、25℃の水100gに対し5g以上溶解する水曜死を示すものが特に好ましい。

【0068】

上記水溶性芳香族化合物としては、例えば、ポリフェノール化合物、芳香族カルボン酸化合物、ナフタレン多価アルコール化合物、ベンゾフェノン化合物フラボノイド化合物、ポリフィン、水溶性フェノキシ樹脂、芳香族含有水溶性色素、これらの誘導体、これらの配糖体、などが挙げられる。これらは、1種単独で使用してもよいし、2種以上を併用してもよい。

#### 【0069】

上記ポリフェノール化合物及びその誘導体としては、例えば、カテキン、アントシアニン（ペラルゴジン型（4'-ヒドロキシ）、シアニン型（3', 4'-ジヒドロキシ）、デルフィニンジン型（3', 4', 5'-トリヒドロキシ））、フラバン-3, 4-ジオール、プロアントシアニン、レゾルシン、レゾルシン[4]アレン、ピロガロール、没食子酸、これらの誘導体又は配糖体などが挙げられる。

#### 【0070】

上記芳香族カルボン酸化合物及びその誘導体としては、例えば、サリチル酸、フタル酸、ジヒドロキシ安息香酸、タンニン、これらの誘導体又は配糖体などが挙げられる。

#### 【0071】

上記ナフタレン多価アルコール化合物及びその誘導体としては、例えば、ナフタレンジオール、ナフタレントリオール、これらの誘導体又は配糖体などが挙げられる。

#### 【0072】

上記ベンゾフェノン化合物及びその誘導体としては、例えば、アリザリンイエローA、その誘導体又は配糖体などが挙げられる。

#### 【0073】

上記フラボノイド化合物及びその誘導体としては、例えば、フラボン、イソフラボン、フラバノール、フラボノン、フラボノール、フラバン-3-オール、オーロン、カルコン、ジヒドロカルコン、ケルセチン、これらの誘導体又は配糖体などが挙げられる。

#### 【0074】

上記水溶性芳香族化合物の中でも、水溶性に優れる点で、極性基を2以上有するものが好ましく、3個以上有するものがより好ましく、4個以上有するものが特に好ましい。

#### 【0075】

上記極性基としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができるが、例えば、水酸基、カルボキシル基、カルボニル基、スルホニル基などが挙げられる。

#### 【0076】

上記水溶性芳香族化合物のレジストパターン膨潤化材料における含有量は、上記樹脂、上記架橋剤等の種類・含有量等に応じて適宜決定することができる。

#### 【0077】

レジストパターン膨潤化材料が芳香族化合物を一部に有してなる樹脂を含有していると、エッチング耐性を顕著に向上させることができる点で好ましい。

#### 【0078】

上記芳香族化合物を一部に有してなる樹脂としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができるが、架橋反応を生ずることができるものが好ましく、例えば、ポリビニルアリールアセタール樹脂、ポリビニルアリールエーテル樹脂、ポリビニルアリールエステル樹脂、これらの誘導体などが好適に挙げられ、これらの中から選択されるすくなくとも1種であるのが好ましく、適度な水溶性乃至アルカリ可溶性を示す点でアセチル基を有するものがより好ましい。これらは、1種単独で使用してもよいし、2種以上を併用してもよい。

#### 【0079】

上記ポリビニルアリールアセタール樹脂としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができ、例えば、 $\beta$ -レゾルシンアセタールなどが挙げられる。

#### 【0080】

上記ポリビニルアリールエーテル樹脂としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができ、例えば、4-ヒドロキシベンジルエーテルなどが挙げられる。

## 【0081】

上記ポリビニルアリールエステル樹脂としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができ、例えば、安息香酸エステルなどが挙げられる。

## 【0082】

上記ポリビニルアリールアセタール樹脂の製造方法としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができるが、例えば、公知のポリビニルアセタール反応を利用した製造方法などが好適に挙げられる。この製造方法は、例えば、酸触媒下、ポリビニルアルコールと、このポリビニルアルコールと化学量論的に必要とされる量のアルデヒドとをアセタール化反応させる方法であり、具体的には、米国特許第5,169,897号、米国特許第5,262,270号、特開平05-78414号公報等に掲載された方法が好適に挙げられる。

## 【0083】

上記ポリビニルアリールエーテル樹脂の製造方法としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができるが、例えば、対応するビニルアリールエーテルモノマーとビニルアセテートとの共重合反応、塩基性触媒の存在下、ポリビニルアルコールとハロゲン化アルキル基を有する芳香族化合物とのエーテル化反応（ウィリアムソン（Williamson）のエーテル合成反応）などが挙げられ、具体的には、特開2001-40086号公報、特開2001-181383号公報、特開平06-116194号公報等に掲載された方法などが好適に挙げられる。

## 【0084】

上記ポリビニルアリールエステル樹脂の製造方法としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができるが、例えば、対応するビニルアリールエステルモノマーとビニルアセテートとの共重合反応、塩基性触媒の存在下、ポリビニルアルコールと芳香族カルボン酸ハライド化合物とのエステル化反応などが挙げられる。

## 【0085】

上記芳香族化合物を一部に有してなる樹脂における芳香族化合物としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができ、例えば、単環性芳香族のベンゼン誘導体、ピリジン誘導体等、芳香族環が複数個連結した化合物（ナフタレン、アントラセン等の多環性芳香族）、などが好適に挙げられる。

## 【0086】

上記芳香族化合物を一部に有してなる樹脂における芳香族化合物は、例えば、水酸基、シアノ基、アルコキシ基、カルボキシ基、アミノ基、アミド基、アルコキシカルボニル基、ヒドロキシアルキル基、スルホニル基、酸無水物基、ラクトン基、シアネート基、イソシアネート基、ケトン基等の官能基や糖誘導基少なくとも1つ有するのが適当な水溶性の観点からは好適であり、水酸基、アミノ基、スルホニル基、カルボキシ基、及びこれらの誘導体による基から選択される官能基を少なくとも1つ有するのがより好ましい。

## 【0087】

上記芳香族化合物を一部に有してなる樹脂における芳香族化合物のモル含有率としては、エッチング耐性に影響がない限り特に制限はなく目的に応じて適宜選択することができるが、高いエッチング耐性を必要とする場合には5mol%以上であるのが好ましく、10mol%以上であるのがより好ましい。なお、上記芳香族化合物を一部に有してなる樹脂における芳香族化合物のモル含有率は、例えば、NMR等を用いて測定することができる。

## 【0088】

上記芳香族化合物を一部に有してなる樹脂のレジストパターン膨潤化材料における含有量は、上記樹脂、上記架橋剤等の種類・含有量に応じて適宜決定することができる。

## 【0089】

上記有機溶剤は、レジストパターン膨潤化材料に包有させることにより、レジストパターン膨潤化材料における、上記樹脂、上記架橋剤等の溶解性を向上させることができる。

## 【0090】

上記有機溶剤としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができ、例えば、アルコール系有機溶剤、鎖状エステル系有機溶剤、環状エステル系有機溶剤、ケトン系有機溶剤、鎖状エーテル系有機溶剤、環状エーテル系有機溶剤、などが挙げられる。

【0091】

上記アルコール系有機溶剤としては、例えば、メタノール、エタノール、プロピルアルコール、イソプロピルアルコール、ブチルアルコールなどが挙げられる。

【0092】

上記鎖状エステル系有機溶剤としては、例えば、乳酸エチル、プロピレングリコールメチルエーテルアセテート（PGMEA）などが挙げられる。

【0093】

上記環状エステル系有機溶剤としては、例えば、 $\gamma$ -ブチロラクトン等のラクトン系有機溶剤などが挙げられる。

【0094】

上記ケトン系有機溶剤としては、例えば、アセトン、シクロヘキサノン、ヘプタノン等のケトン系有機溶剤、などが挙げられる。

【0095】

上記鎖状エーテル系有機溶剤としては、例えば、エチレングリコールジメチルエーテルなどが挙げられる。

【0096】

上記環状エーテル系有機溶剤としては、例えば、テトラヒドロフラン、ジオキサン、などが挙げられる。

【0097】

これらの有機溶剤は、1種単独で使用してもよいし、2種以上を併用してもよい。これらの中でも、膨潤化を精細に行うことができる点で、80～200℃程度の沸点を有するものが好ましい。

【0098】

上記有機溶剤のレジストパターン膨潤化材料における含有量は、上記樹脂、上記架橋剤、上記界面活性剤等の種類・含有量等に応じて適宜決定することができる。

【0099】

その他の成分としては、本発明の効果を害しない限り特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができ、公知の各種添加剤、例えば、熱酸発生剤、アミン系、アミド系、アンモニウム塩素等に代表されるクエンチャーなどが挙げられる。

【0100】

上記その他の成分のレジストパターン膨潤化材料における含有量は、上記樹脂、上記架橋剤等の種類・含有量等に応じて適宜決定することができる。

【0101】

レジストパターン膨潤化材料における水以外の成分の総含有量は、下地のフォトリソ膜の膨潤量、すなわち開口径の縮小量の観点からは、通常、1～80質量%であり、5～50質量%が好ましく、10～20質量%がより好ましい。

【0102】

レジストパターン膨潤化材料の塗布の方法としては、特に制限はなく、目的に応じて公知の塗布方法の中から適宜選択することができ、例えば、スピンコート法などが好適に挙げられる。スピンコート法の場合、その条件としては例えば、回転数が100～1000 rpm程度であり、800～5000 rpmが好ましく、時間が1秒～10分程度であり、1秒～90秒が好ましい。塗布の際の塗布厚みとしては、通常、10～1000 nm程度であり、200～500 nm程度が好ましい。

【0103】

なお、塗布の際、界面活性剤については、レジストパターン膨潤化材料に含有させずに、レジストパターン膨潤化材料を塗布する前に別途塗布するようにしてもよい。

【0104】

レジストパターン膨潤化材料の塗布の際乃至その後で、塗布したレジストパターン膨潤化材料をソフトベーク（加温・乾燥のための熱処理）するのが、下地のフォトレジスト膜とレジストパターン膨潤化材料との界面においてレジストパターン膨潤化材料のフォトレジスト膜へのミキシング（含浸）を効率よく生じさせることができる等の点で好ましい。

#### 【0105】

なお、ソフトベークの条件、方法等としては、下地のフォトレジスト膜を軟化させない限り特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができるが、例えば、温度が40～120℃程度であり、70～100℃が好ましく、時間が10秒～5分程度であり、40秒～100秒が好ましい。

#### 【0106】

また、ソフトベークの後で、塗布したレジストパターン膨潤化材料のハードベーク（架橋反応のための熱処理）を行うのが、下地のフォトレジスト膜とレジストパターン膨潤化材料との界面においてミキシングした部分の架橋反応を効率的に進行させることができる等の点で好ましい。

#### 【0107】

なお、ハードベークの条件、方法等としては、特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができるが、ソフトベークよりも通常高い温度条件が採用される。ハードベークの条件としては、例えば、温度が70～150℃程度であり、90～130℃が好ましく、時間が10秒～5分程度であり、40秒～100秒が好ましい。

#### 【0108】

レジストパターン膨潤化材料をパターニングしたノボラック系フォトレジスト膜上に塗布し架橋させると、レジスト膜の開口部が膨潤し、開口部の径が縮小される。フォトレジスト膜の膨潤量、すなわち開口径の縮小量は、レジストパターン膨潤化材料の組成、組成比、配合量、濃度、粘度、塗布厚み、フォトレジストのベーク温度及びベーク時間等を適宜調節することにより、所望の範囲に制御することができる。

#### 【0109】

図2は、開口部の縮小量（シュリンク量）とフォトレジストのプリベーク温度との関係を示すグラフである。ここで、プリベークとは、フォトレジスト材料を塗布した後、レジストパターンの膨潤化処理前に行うベーク処理であり、フォトレジスト材料中の溶剤を揮発して固化させる目的で行うものである。なお、レジストパターンの膨潤化処理は、ソフトベークを85℃、60秒間、ハードベークを95℃、60秒間とし、純水洗浄を60秒間とした。また、フォトレジストには、東京応化社製IP3500を用いた。

#### 【0110】

図示するように、プリベーク温度が増加するほどにシュリンク量が低下している。これは、プリベーク温度が高いほどフォトレジスト膜の緻密性が高くなり、現像液の染み込み等による親水性の増加が少なくなると考えられる。

#### 【0111】

リフトオフ法により電極を形成する場合、少なくとも片側0.05μm程度の逆テーパ形状が必要である。この点を考慮すると、プリベーク温度は、120℃以下に設定することが望ましい。

#### 【0112】

図2の結果から、プリベーク温度によりシュリンク量を制御できることがわかる。また、プリベーク温度が高い条件で形成したフォトレジスト膜と、プリベーク温度が低い条件で形成したフォトレジスト膜とを積層し、これに開口部を形成して膨潤化処理を施すことにより、開口部の上部と下部とでシュリンク量を変化させることも可能である。これにより、開口部のテーパ形状を容易に大きくできるとともに、シュリンク量の制御を高精度で行うことができる。

#### 【0113】

例えば、プリベーク温度の異なる東京応化製IP3500を2層積層する場合、120℃でプリベークした下層レジスト及び105℃でプリベークした上層レジストとを積層後

、露光、現像及び開口縮小工程を施すことにより、片側で約  $0.05\mu\text{m}$  (上層レジスト開口端の位置と下層レジスト開口端の位置との差) の逆テーパ形状を得ることができる。

#### 【0114】

図3は、シュリンク量と樹脂の種類との関係を示すグラフである。図3中、樹脂Aはノボラック樹脂(東京応化社製、IP3500)、樹脂Bはポリメチルメタクリレート(MCC社製、PMMA495K)、樹脂Cはポリスチレン重合体(日本ゼオン社製、ZEP520)、樹脂Dはポリメチルグルタルイミド(MCC社製、PMGI)である。

#### 【0115】

図示するように、レジストパターンのシュリンク量は、レジスト材料を構成する樹脂によって大きく変化する。この違いは、樹脂材料のレジストパターン膨潤化材料に対する反応性の違い、主としてレジスト材料の親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性の違いによるものと考えられる。

#### 【0116】

なお、レジストパターン膨潤化材料に対する親和性とは、例えばレジスト材料とレジストパターン膨潤化材料とのなじみや相互溶解性の度合いを示すものである。レジストパターン膨潤化材料は水溶性であり、基本的に親水性のレジストになじむといえる。しかしながら、同じ親水性のレジストであっても、レジストパターン膨潤化材料との親和性が低ければ、レジストパターンの膨潤化はできない。例えば、図3に示す結果に関していえば、ノボラック樹脂やPMGIは同じ親水性を呈するが、レジストパターン膨潤化材料とPMGIとは親和せず、レジストパターンを膨潤化することはできない。

#### 【0117】

図3の結果から、レジスト膜の材料によってシュリンク量を制御できることがわかる。また、シュリンク量の小さい材料よりなるフォトレジスト膜とシュリンク量の大きい材料よりなるフォトレジスト膜とを積層し、これに開口部を形成して膨潤化処理を施すことにより、開口部の上部と下部とでシュリンク量を変化させることも可能である。これにより、開口部のテーパ形状を容易に大きくできるとともに、シュリンク量の制御を高精度で行うことができる。

#### 【0118】

図3に示す樹脂は基本構造が互いに異なっているため、本発明に好適な親和性度を定義することは困難であるが、2層の樹脂を積層し逆テーパ形状を実現する場合、各樹脂上にレジストパターン膨潤化材料を滴下した場合の接触角が $5^\circ$ 以上異なる材料を選択し、接触角の大きい樹脂を下層に、接触角の小さい樹脂を上層に配置することにより、リフトオフに必要な片側 $0.05\mu\text{m}$ 程度の逆テーパを実現できると考えられる。なお、少なくとも上層樹脂は、感光性を有することが必要である。

#### 【0119】

また、フォトレジスト膜の表面領域に、親水性を向上させる処理を積極的に行うことも、開口部のテーパ形状を大きくするうえで効果的である。このような処理としては、フォトレジスト膜のアッシング処理等を適用することができる。

#### 【0120】

このように、本実施形態によれば、フォトレジスト膜を膨潤化する際に、開口部内における親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性の深さ方向分布を利用して、開口部の上部ほどに縮小率の大きい形状、すなわち開口の側壁部分が逆テーパ状であるレジストパターンを容易に形成することができる。

#### 【0121】

##### [第2実施形態]

本発明の第2実施形態による半導体装置及びその製造方法について図4乃至図6を用いて説明する。

#### 【0122】

図4は本実施形態による半導体装置の構造を示す概略断面図、図5及び図6は本実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。



## 【0123】

はじめに、本実施形態による半導体装置の構造について図4を用いて説明する。

## 【0124】

InPやGaN等の化合物半導体層が表面に形成された化合物半導体基板20上には、絶縁膜22が形成されている。絶縁膜22には、化合物半導体基板20に達する開口部28が形成されている。開口部28が形成された絶縁膜22上には、開口部28内において化合物半導体基板20に接し、絶縁膜22上に乗り上げるように形成され、側壁部分が順テーパ形状を有するゲート電極36が形成されている。

## 【0125】

本実施形態による半導体装置では、ゲート電極36の形成過程に第1実施形態によるレジストパターンの形成方法を適用している。第1実施形態によるレジストパターンの形成方法を適用することにより、一回のフォトリソグラフィ工程によりゲート電極36を形成することができ、ゲート電極36のオーバーゲート部分を開口部28に対して容易に整合できるとともに、再現性よく形成することができる。したがって、素子特性のばらつきを大幅に低減することができる。

## 【0126】

しかも、ゲート電極36が化合物半導体基板20に接する領域以外の化合物半導体基板20の表面領域は、絶縁膜22により覆うことができる。したがって、化合物半導体基板20の表面が絶縁膜22によりパッシベートされ、表面準位によるキャリアのトラップ準位の形成を抑止し、キンク現象やコラプス現象等を防止することができる。InP系やGaN系等の化合物半導体材料の表面は不安定なことが知られており、ゲート電極形成領域以外の半導体表面が絶縁膜22によりパッシベートされているこのような構造は特に有効である。

## 【0127】

次に、本実施形態による半導体装置の製造方法について図5及び図6を用いて説明する。

## 【0128】

まず、化合物半導体基板20上に、例えばプラズマCVD法により、例えば膜厚20nmのシリコン窒化膜又はシリコン窒化酸化膜を堆積し、これら膜よりなる絶縁膜22を形成する(図5(a))。なお、本願明細書において、半導体基板とは、半導体基板そのもののみならず、所定の機能層が形成された半導体基板をも含むものである。

## 【0129】

次いで、絶縁膜22上に、スピコート法により、例えば膜厚800nmのノボラック系フォトレジスト(例えば住友化学社製、PFI-32等)を塗布し、i線露光によってゲート開口部のパターニングを行う。これにより、ゲート開口部に開口部24を有するフォトレジスト膜26を形成する(図5(b))。

## 【0130】

次いで、ドライエッチングにより、フォトレジスト膜26をマスクとして絶縁膜22をエッチングし、絶縁膜22に化合物半導体基板20の表面を露出する開口部24を形成する。

## 【0131】

このとき、絶縁膜22のドライエッチングには、例えばエッチングガスとしてSF<sub>6</sub>を用い、例えばバイアスを50V、圧力を1.0Pa、エッチング狙い膜厚を60nmの条件で行う。フォトレジスト膜26は絶縁膜22よりもサイドエッチングレートが速いため、絶縁膜22の膜厚に対してこのように大きくオーバーエッチングを行うことにより、フォトレジスト膜26が横方向にエッチングされ、開口部24の幅が開口部28の幅よりも大きくなる(図5(c))。

## 【0132】

次いで、全面に、例えば回転数を300rpm、時間を60秒として、スピコート法により、レジストパターン膨潤化材料を塗布し、レジストパターン膨潤化膜30を形成す

る(図5(d))。

【0133】

次いで、例えば85℃、70秒間のソフトベークを行い、開口部24の端面においてフォトレジスト膜26とレジストパターン膨潤化膜30とをミキシングさせ、ミキシング領域32を形成する(図6(a))。

【0134】

次いで、例えば95℃、70秒間のハードベークを行い、ミキシング領域32を架橋させる。以下では、架橋したミキシング領域32をも一括してフォトレジスト膜26と呼ぶ。

【0135】

次いで、水、イソプロピルアルコール又は弱アルカリ水溶液により、例えば60秒間の現像を行うことにより、未架橋のレジストパターン膨潤化膜30を溶解・除去する。これにより、フォトレジスト膜26に、上部ほど開口幅が狭い逆テーパ形状の開口部24を形成する(図6(b))。なお、水により現像を行った場合、開口上端の縮小量は約0.1μmであり、逆テーパの角度は約7°程度であった。

【0136】

ここで、図5(b)～(c)の工程において形成する開口部24の開口径をフォトレジスト膜26の解像限界程度の寸法に設定すると、上記膨潤化処理を行うことにより、開口部24の上部開口径をフォトレジスト膜26の解像限界以下まで縮小することができる。

【0137】

次いで、蒸着法により、膜厚1nmのチタン(Ti)膜と、膜厚30nmの白金(Pt)膜と、膜厚500nmの金(Au)膜とを順次蒸着し、これら金属の積層膜よりなる導電膜34を形成する(図6(c))。

【0138】

次いで、リフトオフにより、フォトレジスト膜26上の導電膜34とともにフォトレジスト膜26を除去することにより、開口部28内の化合物半導体基板20上に選択的に導電膜34を残存させ、この導電膜34よりなるゲート電極36を形成する(図6(d))。

【0139】

このように、本実施形態によれば、フォトレジスト膜を膨潤化する際に、開口部内における親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性の深さ方向分布を利用して、開口部の上方ほど膨潤量を大きくするので、逆テーパ状の開口端を有するフォトレジスト膜を容易に形成することができる。この場合は、ドライエッチングにより開口上部のレジストパターン膨潤化材料に対する親和性が選択的に向上している。

【0140】

また、フォトリソグラフィーによってフォトレジスト膜に開口部を形成後に膨潤化処理を行うので、フォトリソグラフィーにより開口した開口径よりも小さい開口径を有する開口部を形成することができる。これにより、フォトレジストの解像限界以下の開口径を有し側壁部分がテーパ状である開口部を形成することができる。このような開口部を有するフォトレジスト膜は、リフトオフを用いた電極形成に好適である。

【0141】

また、ゲート電極36の端部が絶縁膜22上に延在する構造のT型ゲート電極を形成する場合でも、ゲート電極36を1回のフォトリソグラフィー工程により形成することができる。これにより、製造工程を簡略にできるとともに、ゲート電極36のオーバーゲート部分を開口部28に対して容易且つ再現性よく整合させることができる。したがって、素子特性のばらつきを大幅に低減することができる。

【0142】

また、ゲート電極36が化合物半導体基板20に接する領域以外の化合物半導体基板20の表面領域を絶縁膜22により覆うことができるので、化合物半導体基板20の表面が絶縁膜22によりパッシベートされ、表面準位によるキャリアのトラップ準位の形成を抑

止し、キンク現象やコラプス現象等を防止することができる。

【0143】

〔第3実施形態〕

本発明の第3実施形態による半導体装置の製造方法について図7乃至図10を用いて説明する。

【0144】

図7は本実施形態による半導体装置の構造を示す概略断面図、図8乃至図10は本実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。

【0145】

はじめに、本実施形態による半導体装置の構造について図7を用いて説明する。

【0146】

InP基板40上には、InAlAsよりなるバッファ層42が形成されている。バッファ層42上には、InGaAsよりなるチャネル層44が形成されている。チャネル層44上には、InAlAsよりなる供給層46が形成されている。供給層46は、 $i$ -InAlAs/ $n$ -InAlAs/ $i$ -InAlAsの積層構造を有している。供給層46上には、InPよりなるストッパ層47が形成されている。ストッパ層47上には、 $n$ -InGaAsよりなるキャップ層48が形成されている。

【0147】

キャップ層48には、ソース電極及びドレイン電極となるオーミック電極58が形成されている。オーミック電極58間のキャップ層48には、ストッパ層47に達するゲートリセス領域60が設けられている。ゲートリセス領域60のストッパ層47上には、ゲート電極72が形成されている。

【0148】

次に、本実施形態による半導体装置の製造方法について図8乃至図10を用いて説明する。

【0149】

まず、InP基板40に、例えばMOCVD法により、InAlAsよりなるバッファ層42と、InGaAsチャネル層44と、 $i$ -InAlAs/ $n$ -InAlAs/ $i$ -InAlAsの積層構造を有する供給層46と、InPよりなるストッパ層47と、 $n$ -InGaAsよりなるキャップ層48とを、順次堆積する。

【0150】

次いで、キャップ層48上に、例えばスピンコート法により、例えば膜厚 $1\mu\text{m}$ のノボラック系フォトレジスト（例えば東京応化製、IP3500）を塗布し、 $100^\circ\text{C}$ 、90秒間のプリベークを行い、フォトレジスト膜50を形成する。

【0151】

次いで、 $i$ 線を用いたフォトリソグラフィによりオーミック電極の形成領域のフォトレジスト膜50を露光し、アルカリ現像液により現像することにより、フォトレジスト膜50にキャップ層48に達する開口部52を形成する（図8（a））。なお、開口部52では、相対的露光量が多く且つ現像液への暴露時間が長いフォトレジスト膜50の表面側ほど親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性が高く、相対的露光量が少なく且つ現像液への暴露時間が短いフォトレジスト膜50のキャップ層48側ほど親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性は低くなる。

【0152】

次いで、例えば $100\text{W}$ 、 $100$ 秒間のアッシング処理を行う。これにより、フォトレジスト膜50の表面近傍側の親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性が更に増加し、フォトレジスト膜50の表面に高親水性領域50aが形成される（図8（b））。

【0153】

次いで、例えば第1実施形態によるレジストパターンの形成方法と同様にして、フォトレジスト膜50の膨潤化処理を行う。まず、スピンコート法により、例えば回転数 $300$

r p m、時間 60 秒として膜厚 300 nm のレジストパターン膨潤化材料を塗布した後、例えば 95℃、60 秒間の熱処理によりミキシング・架橋を行う。次いで、例えば純水により 60 秒間の洗浄処理を行い、未架橋のレジストパターン膨潤化材料を除去する。これにより、開口部 52 は、上部開口幅が約 0.2  $\mu$ m 縮小し、底部開口幅が約 0.1  $\mu$ m 縮小し、約 6° の逆テーパを有する開口部 54 となる（図 8（c））。なお、フォトレジスト膜膨潤化材料の濃度は、フォトレジスト膜 50 に必要とされる所望のサイズシフト（シュリンク量）に応じて適宜設定することが望ましい。

#### 【0154】

次いで、例えば蒸着法やスパッタ法により、膜厚 20 nm の AuGe 膜と、膜厚 200 nm の Au 膜とを順次堆積し、これら金属の積層膜よりなる導電膜 56 を形成する（図 8（d））。

#### 【0155】

次いで、加熱した有機溶媒を用いてリフトオフを行い、フォトレジスト膜 50 上の導電膜 56 とともにフォトレジスト膜 50 を除去し、開口部 54 内のキャップ層 48 上に選択的に導電膜 56 を残存させる。これにより、導電膜 56 よりなるオーミック電極 58 を形成する（図 9（a））。

#### 【0156】

次いで、フォトリソグラフィー及びウェットエッチングにより、ゲート電極形成領域のキャップ層 48 を除去し、ゲートリセス領域 60 を形成する（図 9（b））。

#### 【0157】

次いで、全面に、例えばスピンコート法により、例えば膜厚 0.5  $\mu$ m のノボラック系フォトレジスト（例えば東京応化製、IP3500）を塗布し、120℃、90 秒間のプリベークを行い、フォトレジスト膜 62 を形成する。

#### 【0158】

次いで、フォトレジスト膜 62 上に、例えばスピンコート法により、例えば膜厚 0.5  $\mu$ m のノボラック系フォトレジスト（例えば東京応化製、IP3500）を塗布し、100℃、90 秒間のプリベークを行い、フォトレジスト膜 64 を形成する。

#### 【0159】

次いで、i 線を用いたフォトリソグラフィーによりゲート電極の形成領域のフォトレジスト膜 62、64 を露光し、アルカリ現像液により現像することにより、フォトレジスト膜 62、64 に、開口幅が 0.6  $\mu$ m の供給層 46 に達する開口部 66 を形成する（図 9（c））。なお、開口部 66 では、相対的露光量が多く且つ現像液への暴露時間が長いフォトレジスト膜 64 の表面側ほど親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性が高く、相対的露光量が少なく且つ現像液への暴露時間が短いフォトレジスト膜 62 の供給層 46 側ほど親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性は低くなる。また、プリベーク温度が低いフォトレジスト膜 64 の方が、プリベーク温度が高いフォトレジスト膜 62 よりも親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性が高い。

#### 【0160】

次いで、例えば第 1 実施形態によるレジストパターンの形成方法を用い、フォトレジスト膜 62、64 の膨潤化処理を行う。まず、スピンコート法により、例えば回転数 300 r p m、時間 60 秒として膜厚 300 nm のレジストパターン膨潤化材料を塗布した後、例えば 95℃、60 秒間の熱処理によりミキシング・架橋を行う。次いで、例えば純水により 60 秒間の洗浄処理を行い、未架橋のレジストパターン膨潤化材料を除去する。これにより、開口部 66 は、上部開口幅が約 0.4  $\mu$ m 縮小し、底部開口幅が約 0.2  $\mu$ m 縮小し、逆テーパ状或いは庇状の開口部 68 となる（図 10（a））。なお、フォトレジスト膜膨潤化材料の濃度は、フォトレジスト膜 62、64 に必要とされる所望のサイズシフト（シュリンク量）に応じて適宜設定することが望ましい。

#### 【0161】

次いで、例えば蒸着法或いはスパッタ法により、膜厚 10 nm の Ti 膜と、膜厚 20 nm の Pt 膜と、膜厚 300 nm の Au 膜とを順次堆積し、これら金属の積層膜よりなる導

電膜 70 を形成する (図 10 (b))。

【0162】

次いで、加熱した有機溶媒を用いてリフトオフを行い、フォトレジスト膜 64 上の導電膜 70 とともにフォトレジスト膜 62, 64 を除去し、開口部 68 内のストッパ層 47 上に選択的に導電膜 70 を残存させる。これにより、導電膜 70 よりなるゲート電極 72 を形成する (図 10 (c))。

【0163】

このように、本実施形態によれば、親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性の低いフォトレジスト膜と親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性の高いフォトレジスト膜とを形成し、フォトレジスト膜を膨潤化する際に、開口部内における親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性の深さ方向分布を利用して、開口部の上方ほど膨潤量を大きくするので、逆テーパ状の開口端を有するフォトレジスト膜を容易に形成することができる。

【0164】

また、フォトリソグラフィーによってフォトレジスト膜に開口部を形成後に膨潤化処理を行うので、フォトリソグラフィーにより開口した開口径よりも小さい開口径を有する開口部を形成することができる。これにより、フォトレジストの解像限界以下の開口径を有し側壁部分がテーパ状である開口部を形成することができる。このような開口部を有するフォトレジスト膜は、リフトオフを用いた電極形成に好適である。

【0165】

また、フォトレジスト膜を形成する際のプリベーク温度によりフォトレジスト膜の親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性を制御するので、開口内におけるフォトレジスト膜の膨潤量を正確に制御することができる。

【0166】

[第 4 実施形態]

本発明の第 4 実施形態による半導体装置について図 11 及び図 12 を用いて説明する。図 7 乃至図 10 に示す第 3 実施形態による半導体装置及びその製造方法と同様の構成要素には同一の符号を付し説明を省略し或いは簡略にする。

【0167】

図 11 及び図 12 は本実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。

【0168】

本実施形態では、図 7 に示す第 3 実施形態による半導体装置の他の製造方法を示す。

【0169】

まず、図 8 (a) 乃至図 9 (b) に示す第 3 実施形態による半導体装置の製造方法と同様にして、オーミック電極 58 及びゲートリセス領域 60 等を形成する (図 11 (a))。

【0170】

次いで、全面に、例えばスピンコート法により、例えば膜厚  $0.5 \mu\text{m}$  のポリメチルグルタルイミド樹脂 (MCC 社製、PMGI) を塗布し、 $180^\circ\text{C}$ 、120 秒間のプリベークを行い、樹脂層 74 を形成する。

【0171】

次いで、樹脂層 74 上に、例えばスピンコート法により、例えば膜厚  $0.5 \mu\text{m}$  のノボラック系フォトレジスト (例えば東京応化製、IP3500) を塗布し、 $120^\circ\text{C}$ 、90 秒間のプリベークを行い、フォトレジスト膜 76 を形成する。

【0172】

次いで、i 線を用いたフォトリソグラフィーによりゲート電極の形成領域のフォトレジスト膜 76 を露光し、アルカリ現像液により現像することにより、フォトレジスト膜 76 に、開口幅が  $0.4 \mu\text{m}$  の開口部 66 を形成する。

【0173】

この際、アルカリ可溶性であるポリメチルグルタルイミド樹脂よりなる樹脂層 74 はフ

フォトレジスト膜 76 の現像液によりエッチングされ、樹脂層 74 には開口部 66a が形成される。また、樹脂層 74 のアルカリ現像液に対するエッチングレートは、フォトレジスト膜 76 のアルカリ現像液に対するエッチングレートよりも早いため、樹脂層 74 における開口部 66a は、フォトレジスト膜 76 における開口部 66b よりも大きく開口する。これにより、樹脂層 74 及びフォトレジスト膜 76 に形成された開口部 66 は、実質的に逆テーパ形状或いは底状となる (図 11 (b))。

#### 【0174】

次いで、例えば第 1 実施形態によるレジストパターンの形成方法を用い、フォトレジスト膜 76 の膨潤化処理を行う。まず、スピンコート法により、例えば膜厚  $1\mu\text{m}$  のレジストパターン膨潤化材料を塗布した後、例えば  $95^{\circ}\text{C}$ 、60 秒間の熱処理によりミキシング・架橋を行う。次いで、例えば純水により 60 秒間の洗浄処理を行い、未架橋のレジストパターン膨潤化材料を除去する。

#### 【0175】

ここで、レジストパターン膨潤化材料に対する親和性の乏しい PMGI よりなる樹脂層 74 では、ほとんど膨潤化が生じない。これにより、開口部 66b は、フォトレジスト膜 76 における開口幅が約  $0.2\mu\text{m}$  縮小し、開口部 68 となる (図 11 (c))。

#### 【0176】

次いで、例えば蒸着法或いはスパッタ法により、膜厚  $10\text{nm}$  の Ti 膜と、膜厚  $20\text{nm}$  の Pt 膜と、膜厚  $300\text{nm}$  の Au 膜とを順次堆積し、これら金属の積層膜よりなる導電膜 70 を形成する (図 12 (a))。

#### 【0177】

次いで、加熱した有機溶媒を用いてリフトオフを行い、フォトレジスト膜 76 上の導電膜 70 とともにフォトレジスト膜 74、76 を除去し、開口部 68 内のストッパ層 47 上に選択的に導電膜 70 を残存させる。これにより、導電膜 70 よりなるゲート電極 72 を形成する (図 12 (b))。

#### 【0178】

このように、本実施形態によれば、親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性の低い樹脂層と、親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性の高いフォトレジスト膜とを形成し、フォトレジスト膜を膨潤化する際に、開口部内における親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性の深さ方向分布を利用して、開口部の上方ほど膨潤量を大きくするので、逆テーパ状の開口端を有するフォトレジスト膜を容易に形成することができる。

#### 【0179】

また、フォトリソグラフィーによってフォトレジスト膜に開口部を形成後に膨潤化処理を行うので、フォトリソグラフィーにより開口した開口径よりも小さい開口径を有する開口部を形成することができる。これにより、フォトレジストの解像限界以下の開口径を有し側壁部分がテーパ状である開口部を形成することができる。このような開口部を有するフォトレジスト膜は、リフトオフを用いた電極形成に好適である。

#### 【0180】

また、フォトレジスト膜を構成する樹脂材料の選択によりフォトレジスト膜の親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性を制御するので、開口内におけるフォトレジスト膜の膨潤量を正確に制御することができる。

#### 【0181】

##### [変形実施形態]

本発明は上記実施形態に限らず種々の変形が可能である。

#### 【0182】

例えば、上記第 2 乃至第 4 実施形態では、第 1 実施形態によるレジストパターンの形成方法を電界効果トランジスタのゲート電極形成プロセス或いはオーミック電極形成プロセスに適用した場合を説明したが、本発明によるレジストパターンの形成方法は、ゲート電極形成プロセス及びオーミック電極形成プロセスへの適用に限定されるものではない。本

発明によるレジストパターン形成方法は、開口部の側壁部分の形状が逆テーパ形状であるフォトリソ膜を所望する種々のプロセスに広く適用することができ、例えばキャパシタやインダクタなどの受動素子の電極を形成する際のリフトオフ工程においても、同様に適用することができる。

【0183】

また、上記第2実施形態では、絶縁膜22に開口部28を形成した後に膨潤化処理を行っているが、膨潤化処理を行った後に開口部28を形成するようにしてもよい。また、ゲート電極36は必ずしも絶縁膜22上に延在している必要はなく、開口部28内のみに形成するようにしてもよい。但し、基板表面をパッシベートする観点からは、開口部28内の全面にゲート電極36を形成することが望ましい。

【0184】

また、上記第3及び第4実施形態では、InAlAs層を供給層とする電界効果トランジスタについて示したが、本発明のゲート電極構造を適用しうる半導体装置はこれに限定されるものではない。例えば、GaAs基板上に、GaAsよりなるバッファ層と、InGaAsよりなるチャンネル層と、AlGaAsよりなる供給層(i-AlGaAs/n-AlGaAs/i-AlGaAsの積層構造)或いはInGaPよりなる供給層と、n-GaAsよりなるキャップ層とが形成され、AlGaAs供給層にゲート電極が接続された構造を有する電界効果トランジスタにおいても、本発明を適用することができる。

【0185】

また、上記第3及び第4実施形態では、親水性及びレジストパターン膨潤化材料に対する親和性が異なる2層のフォトリソ膜を積層する場合を示したが、3層以上のフォトリソ膜を積層するようにしてもよい。

【0186】

上述したとおり、本発明の特徴をまとめると以下の通りとなる。

【0187】

(付記1)

基板上に、前記基板に達する開口部が形成されたフォトリソ膜を形成する工程と、前記開口部が形成された前記フォトリソ膜に、前記フォトリソ膜を膨潤化する薬液を作用させることにより、前記フォトリソ膜を膨潤化するとともに、前記開口部の側壁部分を逆テーパ形状にする工程と

を有することを特徴とするレジストパターンの形成方法。

【0188】

(付記2)

付記1記載のレジストパターンの形成方法において、

前記フォトリソ膜を形成する工程では、側壁部分の親水性及び前記薬液に対する親和性が上部ほど高い前記開口部を形成する

ことを特徴とするレジストパターンの形成方法。

【0189】

(付記3)

付記1又は2記載のレジストパターンの形成方法において、

前記フォトリソ膜を形成する工程の後に、前記フォトリソ膜の表面領域の親水性及び前記薬液に対する親和性を増加する処理を行う工程を更に有する

ことを特徴とするレジストパターンの形成方法。

【0190】

(付記4)

付記1乃至3のいずれか1項に記載のレジストパターンの形成方法において、

前記フォトリソ膜を形成する工程は、第1の樹脂膜を形成する工程と、前記第1の樹脂膜上に、前記薬液に対する反応性が前記第1の樹脂膜とは異なる第2の樹脂膜を形成する工程と、前記第2の樹脂膜及び前記第1の樹脂膜に前記開口部を形成する工程とを有する

ことを特徴とするレジストパターンの形成方法。

【0 1 9 1】

(付記 5)

付記 4 記載のレジストパターンの形成方法において、  
前記第 1 の樹脂膜を形成するためのプリベーク温度は、前記第 2 の樹脂膜を形成するためのプリベーク温度よりも高い

ことを特徴とするレジストパターンの形成方法。

【0 1 9 2】

(付記 6)

付記 4 又は 5 記載のレジストパターンの形成方法において、  
前記第 1 の樹脂膜を形成する工程では、第 1 の基材樹脂を含む前記第 1 の樹脂膜を形成し、

前記第 2 の樹脂膜を形成する工程では、前記薬液に対する反応性が前記第 1 の基材樹脂とは異なる第 2 の基材樹脂を含み、感光性を有する前記第 2 の樹脂膜を形成する

ことを特徴とするレジストパターンの形成方法。

【0 1 9 3】

(付記 7)

付記 4 乃至 6 のいずれか 1 項に記載のレジストパターンの形成方法において、  
前記第 1 の樹脂膜の前記薬液に対する接触角は、前記第 2 の樹脂膜の前記薬液に対する接触角よりも  $5^{\circ}$  以上大きい

ことを特徴とするレジストパターンの形成方法。

【0 1 9 4】

(付記 8)

付記 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載のレジストパターンの形成方法において、  
前記開口部の最小開口幅は、前記フォトリソレジスト膜の解像限界以下である

ことを特徴とするレジストパターンの形成方法。

【0 1 9 5】

(付記 9)

付記 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載のレジストパターン形成方法において、  
前記フォトリソレジスト膜は、ノボラック系フォトリソレジスト材料又はポリメチルメタクリレート系レジスト材料よりなる膜を含む

ことを特徴とするレジストパターンの形成方法。

【0 1 9 6】

(付記 10)

付記 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載のレジストパターンの形成方法において、  
前記薬液は、樹脂と、架橋剤と、界面活性剤を含有する

ことを特徴とするレジストパターンの形成方法。

【0 1 9 7】

(付記 11)

付記 10 記載のレジストパターンの形成方法において、  
前記薬液は、水溶性又はアルカリ可溶性を有する

ことを特徴とするレジストパターンの形成方法。

【0 1 9 8】

(付記 12)

付記 10 又は 11 記載のレジストパターンの形成方法において、  
前記界面活性剤は、非イオン性界面活性剤である

ことを特徴とするレジストパターンの形成方法。

【0 1 9 9】

(付記 13)

付記 10 乃至 12 のいずれか 1 項に記載のレジストパターンの形成方法において、



前記樹脂は、ポリビニルアルコール、ポリビニルアセタール及びポリビニルアセテートから選択される少なくとも１種である

ことを特徴とするレジストパターンの形成方法。

【0200】

(付記14)

付記10乃至13のいずれか１項に記載のレジストパターン形成方法において、前記架橋剤は、メラミン誘導体、ユリア誘導体及びウリル誘導体から選択される少なくとも１種である

ことを特徴とするレジストパターン形成方法。

【0201】

(付記15)

付記10乃至14のいずれか１項に記載のレジストパターン形成方法において、前記薬液は、水溶性芳香族化合物及び芳香族化合物を一部に有してなる樹脂から選択される少なくとも１種を更に含有する

ことを特徴とするレジストパターン形成方法。

【0202】

(付記16)

付記15記載のレジストパターン形成方法において、

前記水溶性芳香族化合物は、ポリフェノール化合物、芳香族カルボン酸化合物、ナフタレン多価アルコール化合物、ベンゾフェノン化合物、フラボノイド化合物、これらの誘導体及びこれらの配糖体から選択され、芳香族化合物を一部に有してなる前記樹脂は、ポリビニルアリールアセタール樹脂、ポリビニルアリールエーテル樹脂及びポリビニルアリールエステル樹脂から選択される

ことを特徴とするレジストパターン形成方法。

【0203】

(付記17)

付記10乃至16のいずれか１項に記載のレジストパターン形成方法において、

前記薬液は、有機溶剤として、アルコール系溶剤、鎖状エステル系溶剤、環状エステル系溶剤、ケトン系溶剤、鎖状エーテル系溶剤及び環状エーテル系溶剤から選択される少なくとも１種を更に有する

ことを特徴とするレジストパターン形成方法。

【0204】

(付記18)

半導体基板上に、前記半導体基板に達する開口部が形成されたフォトリソ膜を形成する工程と、

前記開口部が形成された前記フォトリソ膜に、前記フォトリソ膜を膨潤化する薬液を作用させることにより、前記フォトリソ膜を膨潤化するとともに、前記開口部の側壁部分を逆テーパ形状にする工程と、

導電膜を堆積した後、前記フォトリソ膜上の前記導電膜を前記フォトリソ膜とともに選択的に除去することにより、前記導電膜よりなり、前記半導体基板に接続された電極を形成する工程と

を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【0205】

(付記19)

半導体基板上に、絶縁膜を形成する工程と、

前記絶縁膜上に、前記絶縁膜に達する第1の開口部が形成されたフォトリソ膜を形成する工程と、

前記フォトリソ膜をマスクとして前記絶縁膜をエッチングし、前記絶縁膜に前記半導体基板に達する第2の開口部を形成する工程と、

前記第1の開口部が形成された前記フォトリソ膜に、前記フォトリソ膜を膨潤

化する薬液を作用させることにより、前記フォトリソ膜を膨潤化するとともに、前記第1の開口部の側壁部分を逆テーパ形状にする工程と、

導電膜を堆積した後、前記フォトリソ膜上の前記導電膜を前記フォトリソ膜とともに選択的に除去することにより、前記導電膜よりなり、前記第2の開口部内において前記半導体基板に接続された電極を形成する工程と

を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【0206】

(付記20)

付記19記載の半導体装置の製造方法において、

前記第2の開口部を形成する工程は、前記フォトリソ膜を膨潤化する工程の前に行う

ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【0207】

(付記21)

付記20記載の半導体装置の製造方法において、

前記第2の開口部を形成する工程では、前記第2の開口部を形成すると同時に、前記第1の開口部の幅を前記第2の開口部の幅よりも広げる

ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【0208】

(付記22)

付記21記載の半導体装置の製造方法において、

前記電極を形成する工程では、前記絶縁膜上に延在する前記ゲート電極を形成することを特徴とする半導体装置。

【0209】

(付記23)

付記19記載の半導体装置の製造方法において、

前記第2の開口部を形成する工程は、前記フォトリソ膜を膨潤化する工程の後に行う

ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【図面の簡単な説明】

【0210】

【図1】本発明の第1実施形態によるレジストパターン形成方法を示す工程断面図である。

【図2】シュリンク量とプリベーク温度との関係を示すグラフである。

【図3】シュリンク量と樹脂の種類との関係を示すグラフである。

【図4】本発明の第2実施形態による半導体装置の構造を示す概略断面図である。

【図5】本発明の第2実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その1）である。

【図6】本発明の第2実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その2）である。

【図7】本発明の第3実施形態による半導体装置の構造を示す概略断面図である。

【図8】本発明の第3実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その1）である。

【図9】本発明の第3実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その2）である。

【図10】本発明の第3実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その3）である。

【図11】本発明の第4実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その1）である。

【図12】本発明の第4実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（そ

の 2) である。

【図 13】従来の半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 1) である。

【図 14】従来の半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 2) である。

【符号の説明】

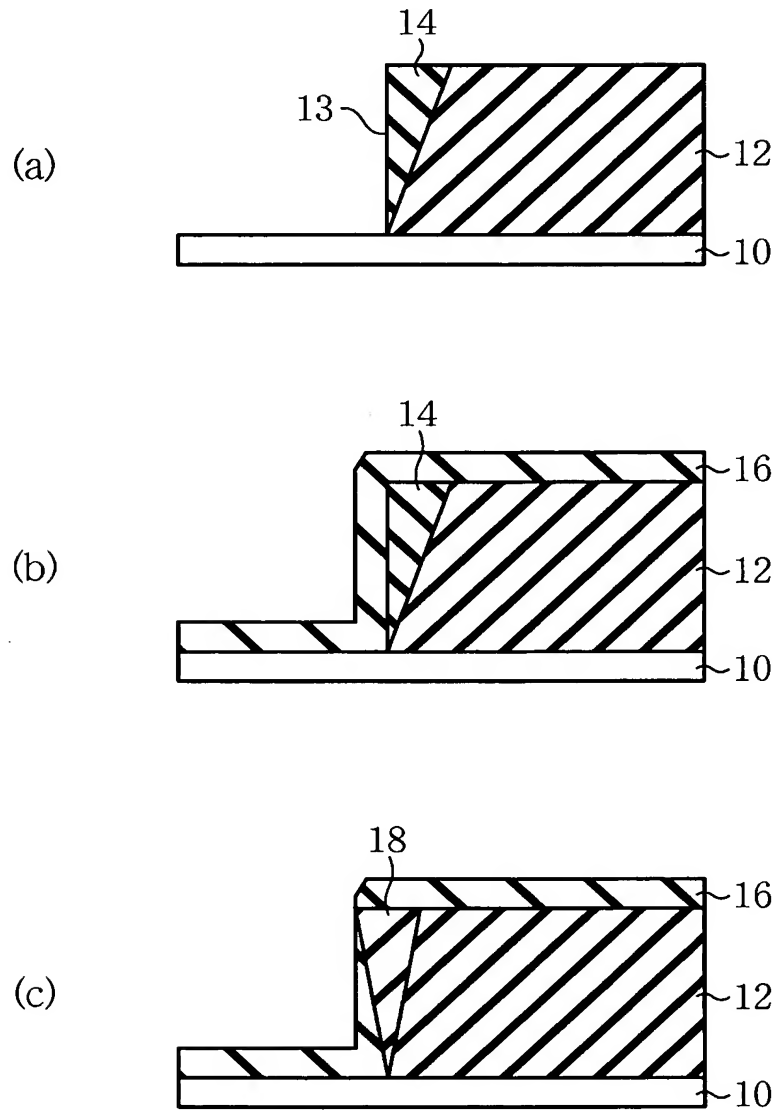
【0211】

- 10…化合物半導体基板
- 12…フォトレジスト膜
- 14…親水性の強い領域
- 16…レジストパターン膨潤化膜
- 18…ミキシング領域
- 20…化合物半導体基板
- 22…絶縁膜
- 24, 28…開口部
- 26…フォトレジスト膜
- 30…レジストパターン膨潤化膜
- 32…ミキシング領域
- 34…導電膜
- 36…ゲート電極
- 40…InP基板
- 42…InAlAs バッファ層
- 44…InGaAs チャネル層
- 46…InAlAs 供給層 46
- 48…n-InGaAs キャップ層
- 50, 62, 64, 76…フォトレジスト膜
- 52, 54, 66, 68…開口部
- 56, 70…導電層
- 58…オーミック電極
- 60…ゲートリセス領域
- 72…ゲート電極
- 74…樹脂層
- 100…化合物半導体基板
- 102…絶縁膜
- 104, 108, 110…フォトレジスト膜
- 106, 112, 114…開口部
- 116…金属膜
- 118…ゲート電極

【書類名】 図面

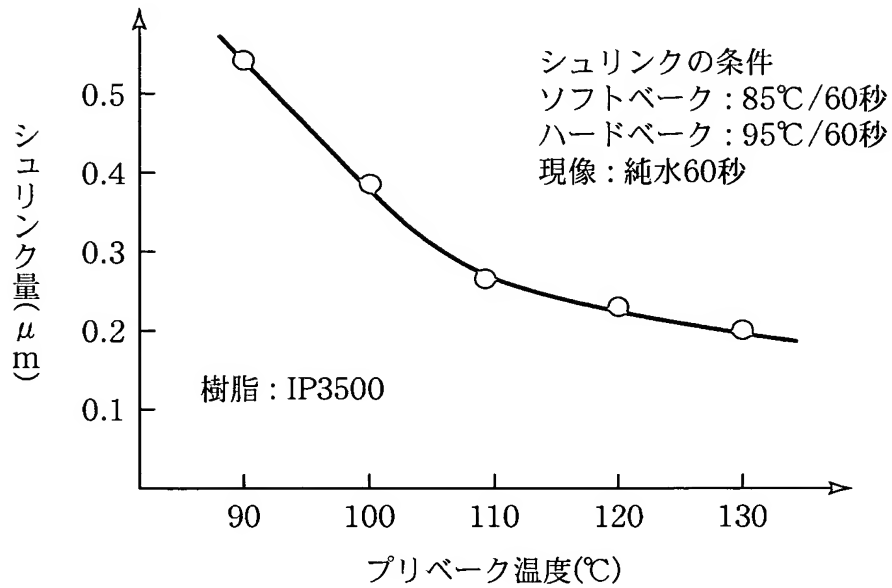
【図 1】

本発明の第1実施形態によるレジストパターン形成方法を示す  
工程断面図



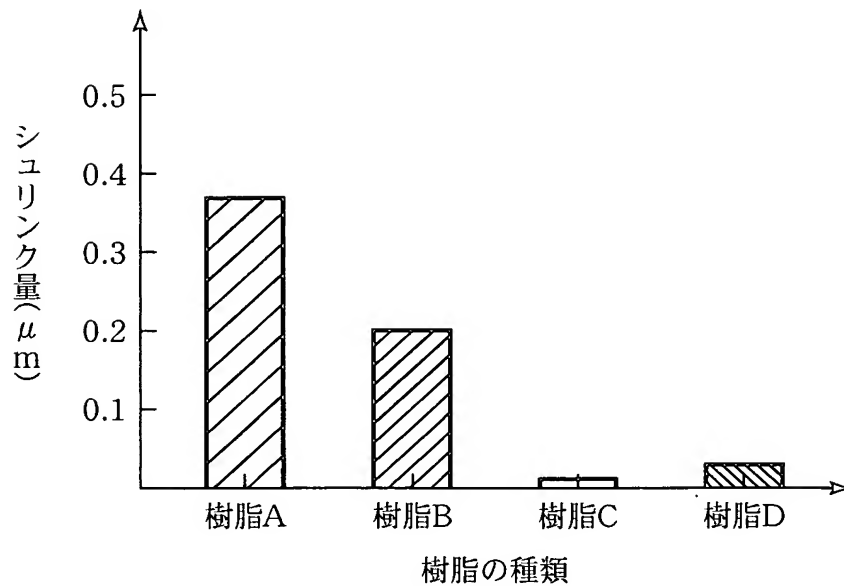
【図 2】

シュリンク量とプリベーク温度との関係を示すグラフ



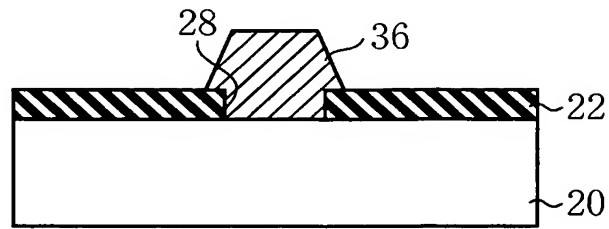
【図 3】

シュリンク量と樹脂の種類との関係を示すグラフ



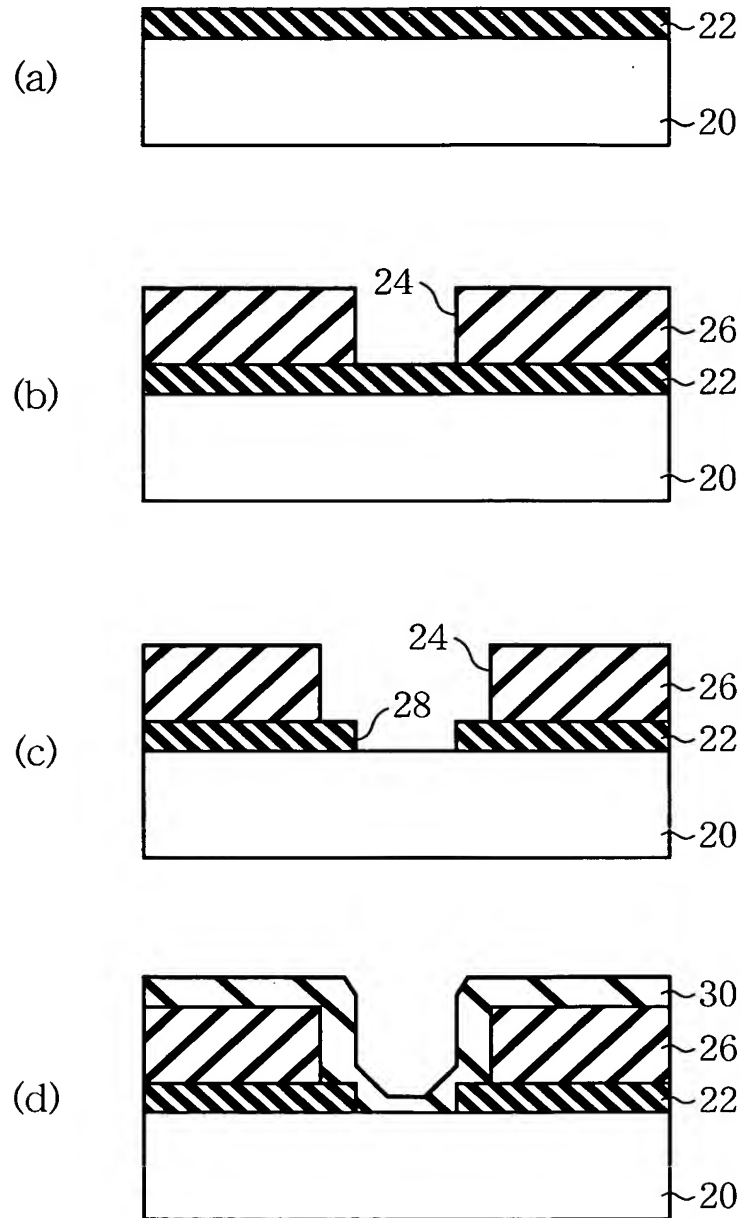
【図 4】

本発明の第2実施形態による半導体装置の構造を示す概略断面図



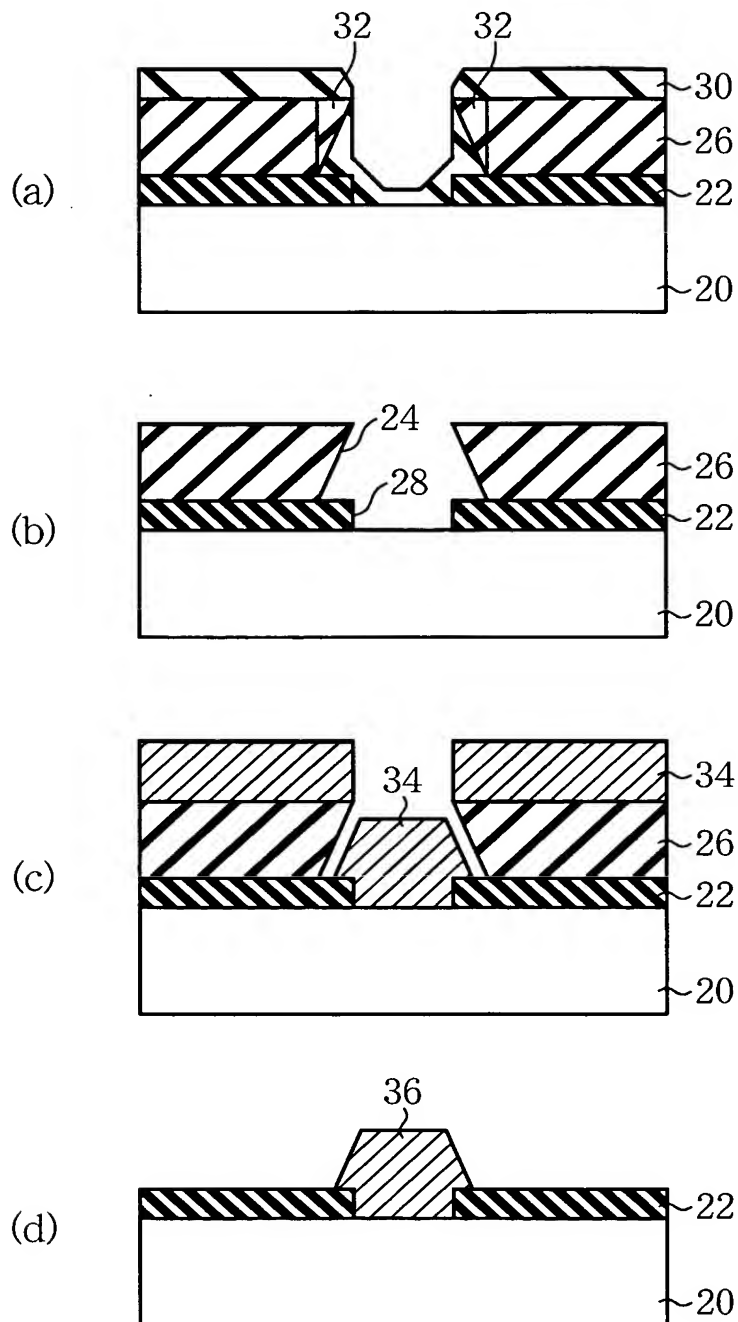
【図 5】

本発明の第2実施形態による半導体装置の製造方法を示す  
工程断面図(その1)



【図 6】

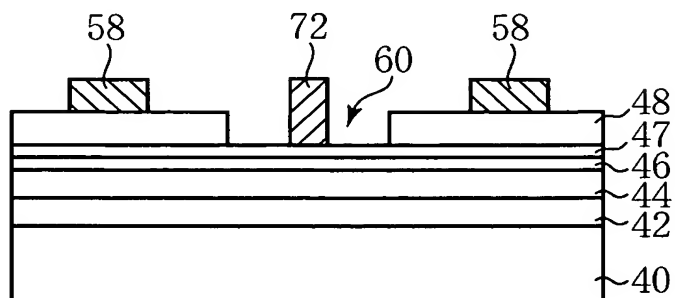
本発明の第2実施形態による半導体装置の製造方法を示す  
工程断面図(その2)





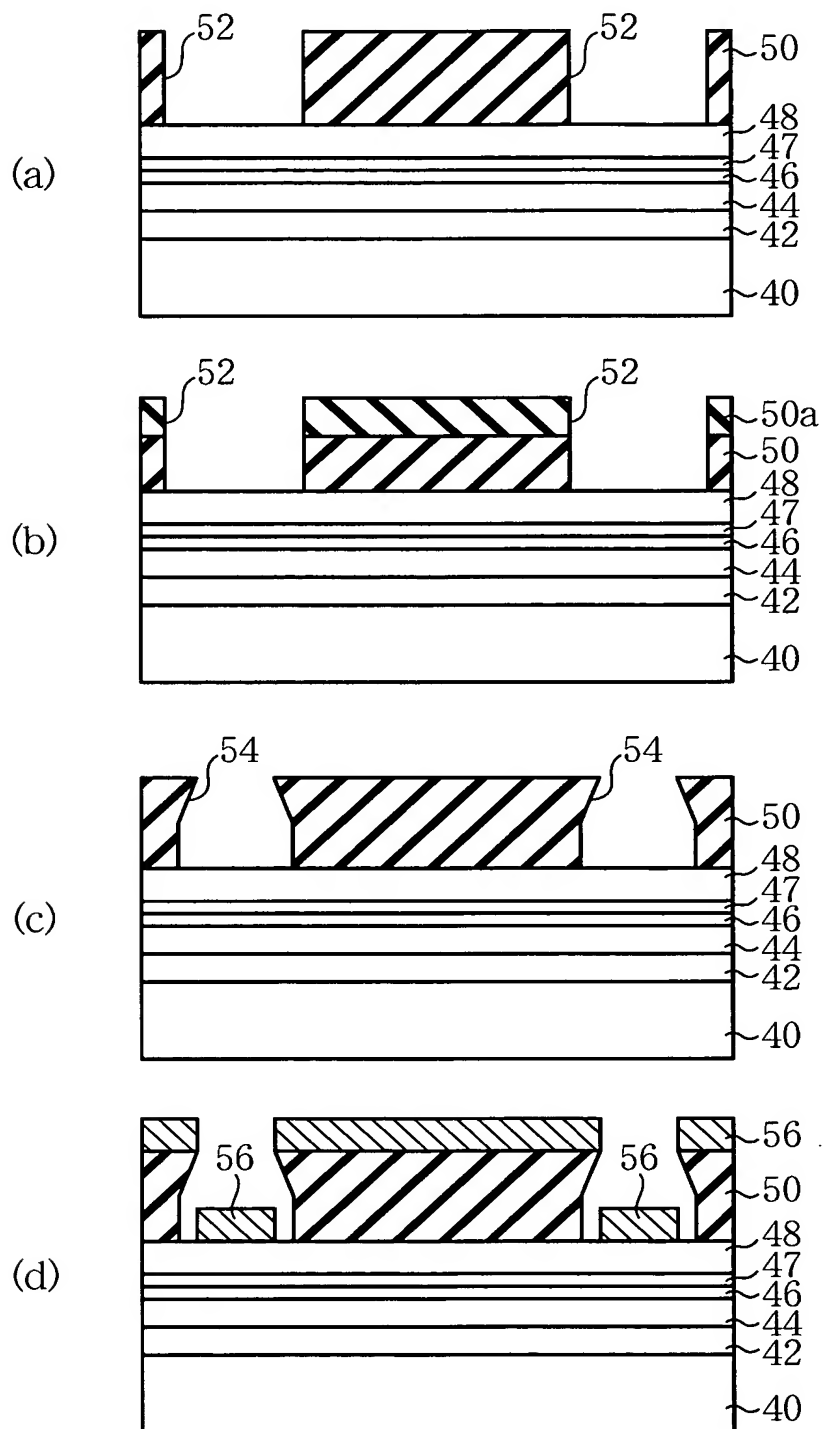
【図 7】

本発明の第3実施形態による半導体装置の構造を示す概略断面図



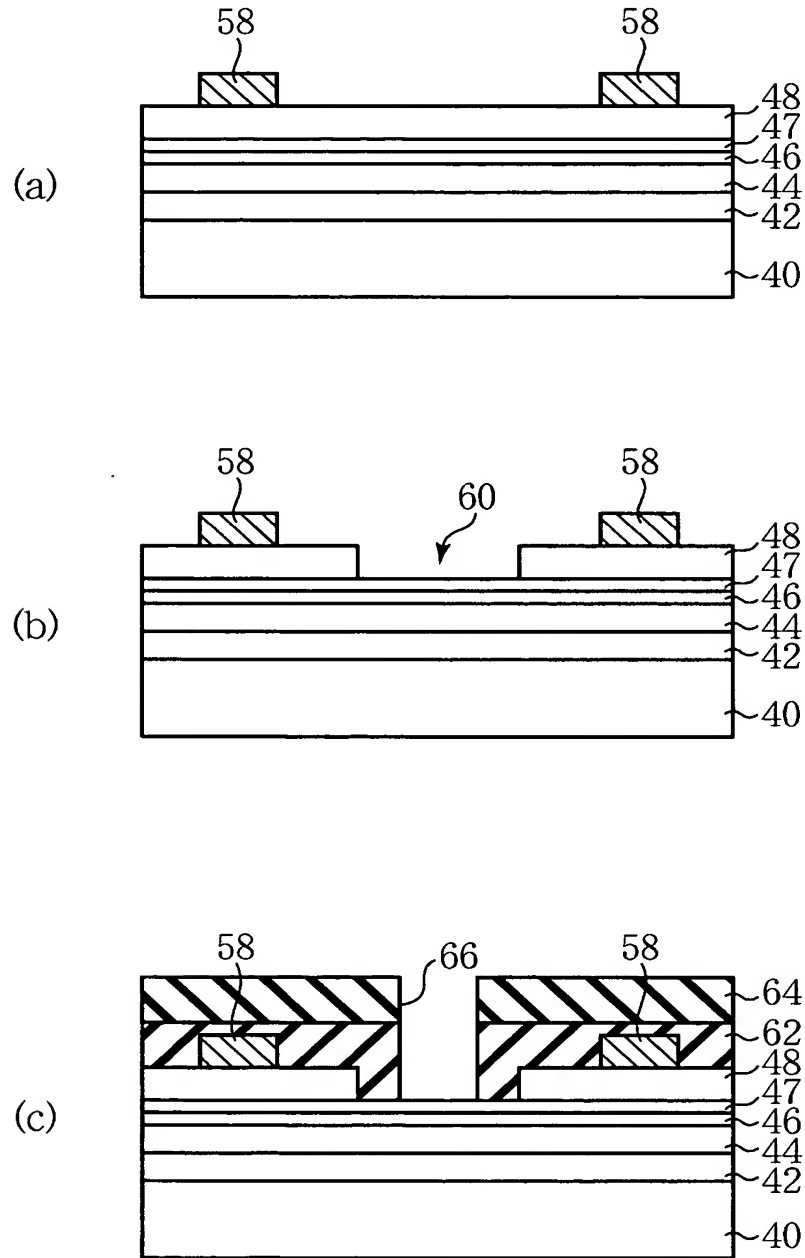
【図 8】

本発明の第3 実施形態による半導体装置の製造方法を示す  
工程断面図(その1)



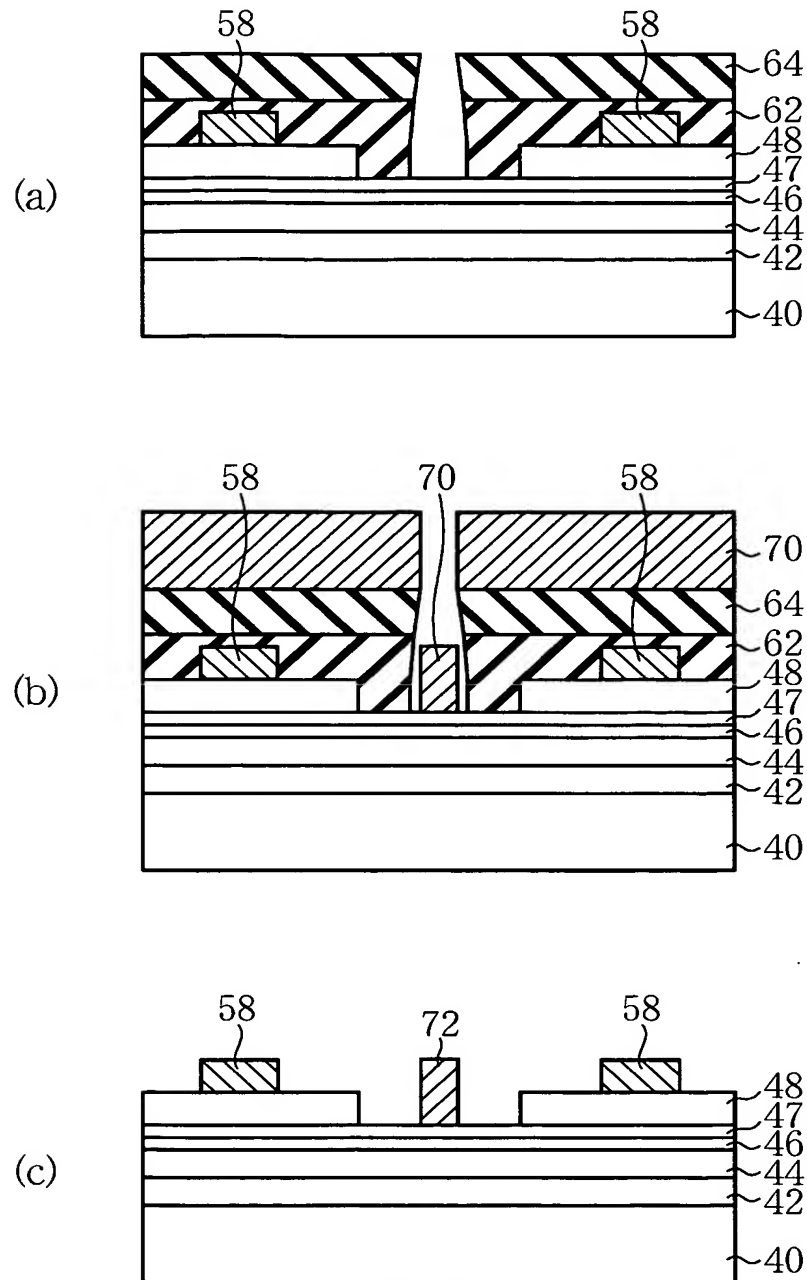
【図 9】

本発明の第3実施形態による半導体装置の製造方法を示す  
工程断面図(その2)



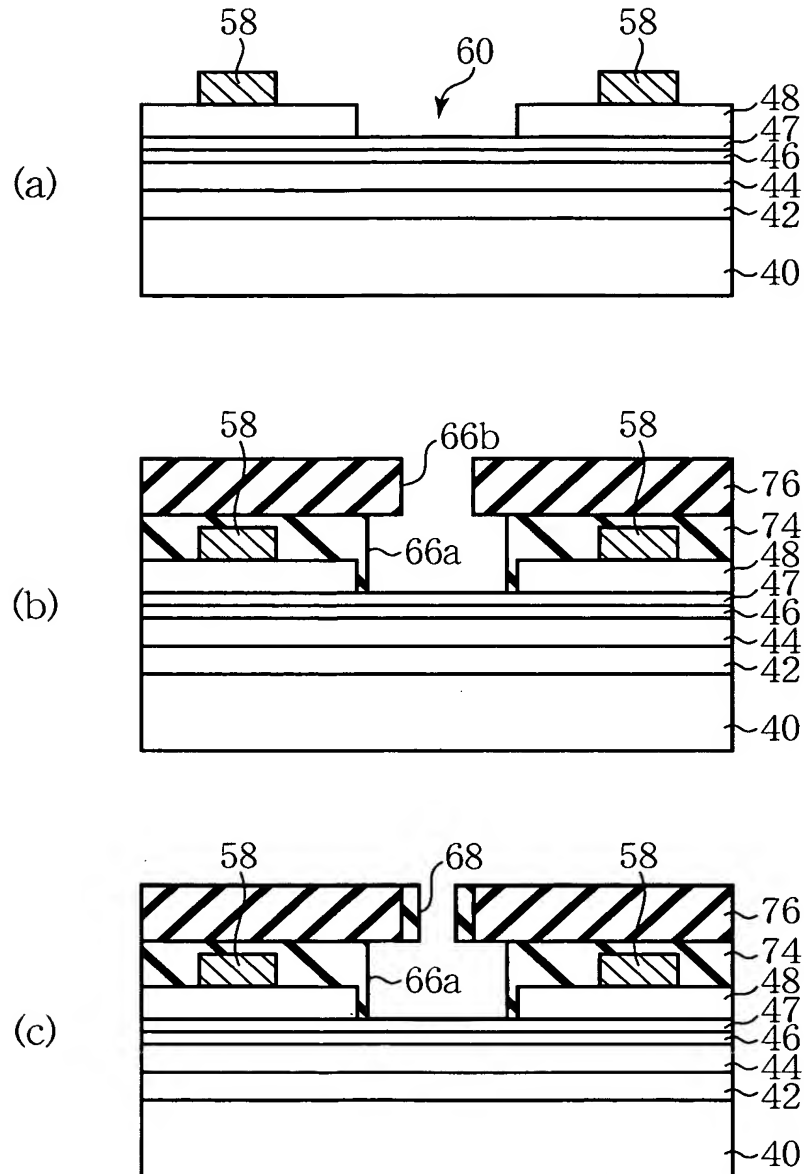
【図 10】

本発明の第3実施形態による半導体装置の製造方法を示す  
工程断面図(その3)



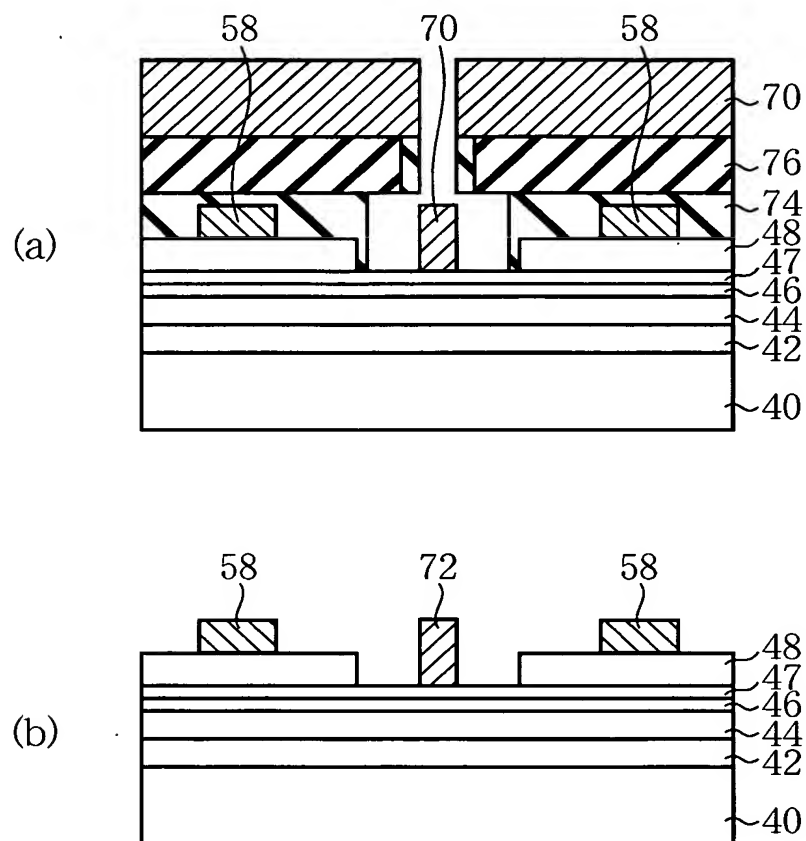
【図 11】

本発明の第4実施形態による半導体装置の製造方法を示す  
工程断面図(その1)



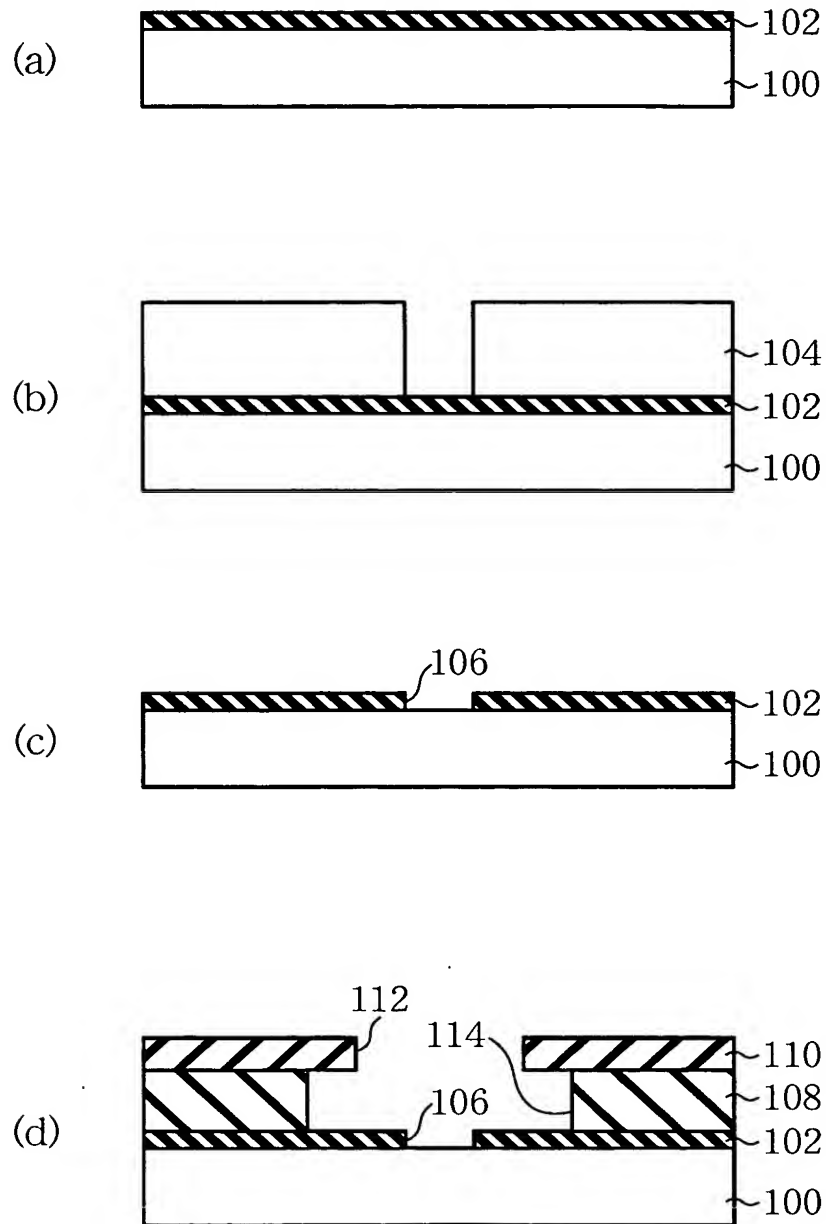
【図 12】

本発明の第4実施形態による半導体装置の製造方法を示す  
工程断面図(その2)



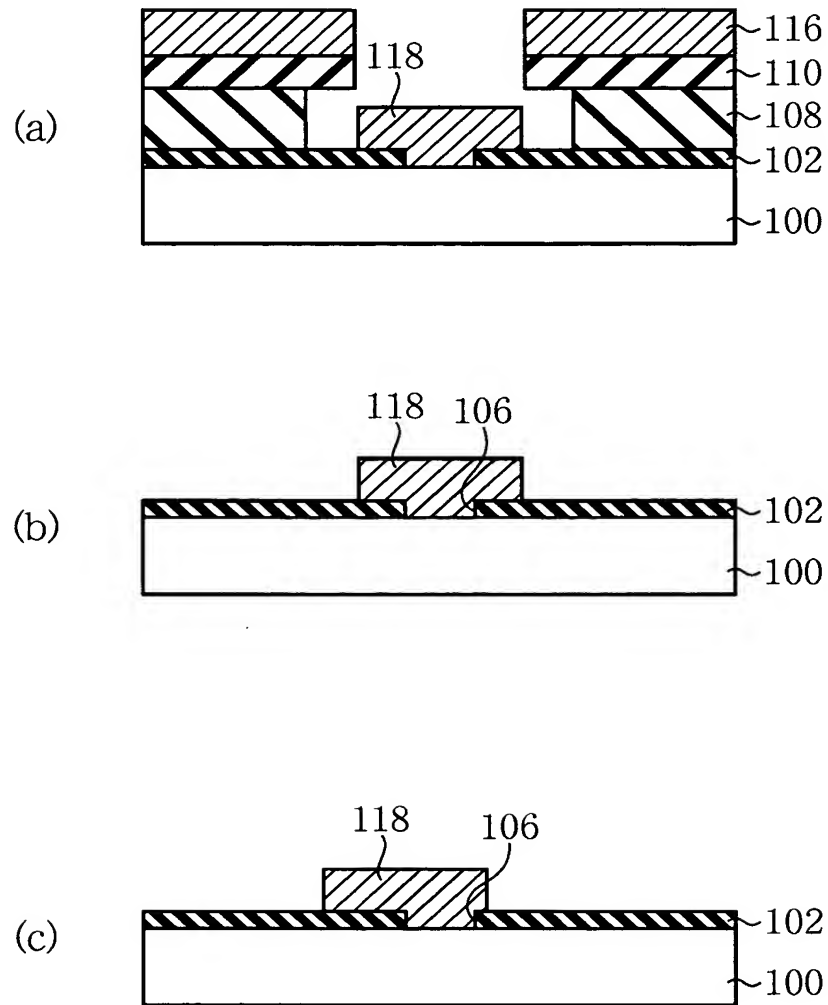
【図 13】

従来の半導体装置の製造方法を示す工程断面図(その1)



【図 14】

従来の半導体装置の製造方法を示す工程断面図(その2)





**【書類名】 要約書****【要約】**

**【課題】**レジストパターンの形成方法及び半導体装置の製造方法に関し、フォトレジストの解像限界よりも微細な開口径を有するとともに、逆テーパ状の開口端部形状を有するレジストパターンを、簡便な手法で形成しうるレジストパターン形成方法を提供する。

**【解決手段】**基板 1 0 上にフォトレジスト膜 1 2 を形成し、フォトレジスト膜 1 2 に、基板 1 0 に達し側壁部分の上方ほど親水性及びフォトレジスト膜を膨潤化する薬液 1 6 に対する親和性の高い開口部を形成し、基板 1 0 に達する開口部が形成されたフォトレジスト膜 1 2 を形成し、開口部が形成されたフォトレジスト膜 1 2 に薬液 1 6 を作用させることによりフォトレジスト膜 1 6 を膨潤化し、開口部の側壁部分を逆テーパ形状にする。

**【選択図】** 図 1

特願 2 0 0 3 - 3 3 9 8 6 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 2 2 3 ]

1. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社